# Der Einfluss der Zürcher Abwässer auf den Algenaufwuchs und dessen Primärproduktion in der Limmat

Inauguraldissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde
vorgelegt der
Philosophischen Fakultät II der Universität Zürich

von
KURT W. WÄLTI
von Zürich und Bottenwil AG

Begutachtet von Herrn Prof. Dr. E. A. Thomas

Zürich 1979
Zentralstelle der Studentenschaft

# Der Einfluss der Zürcher Abwässer auf den Algenaufwuchs und dessen Primärproduktion in der Limmat

Inauguraldissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde
vorgelegt der
Philosophischen Fakultät II der Universität Zürich

von
KURT W. WÄLTI
von Zürich und Bottenwil AG

Begutachtet von Herrn Prof. Dr. E. A. Thomas

Zürich 1979
Zentralstelle der Studentenschaft

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung 1

2. Problemstellung 3

3. Geographische Situation des Untersuchungsgebietes 4
   3.1. Einzugsgebiet der Limmat 4
   3.2. Geologie des Limmatverlaufes 5
   3.3. Stauwerke und Wehre der Limmat 6
   3.4. Limmatzuflüsse von Zürich bis Wettingen 6

4. Untersuchungsprogramm und Methodik 8
   4.1. Probenahmestellen der biologischen Untersuchungen 8
   4.2. Material und Exposition der Aufwuchssubstrate 11
   4.3. Expositionszeit und Entnahme der Aufwuchssubstrate 13
   4.4. Bestimmung und Schätzung der Häufigkeiten von Organismen des Aufwuchses 14
   4.5. Bestimmung der Primärproduktion des Aufwuchses (C-14-Methode) 15
   4.6. Verarbeitung der Aufwuchsproben 17
   4.7. Chemische Untersuchungen 19
   4.8. Bakteriologische Untersuchungen 21

5. Abflussmengen der Limmat 1975-1978 22

6. Wetterverhältnisse in Zürich 1975-1978 25

7. Strömungsverhältnisse und Fliessgeschwindigkeit der Limmat 26

8. Chemische und physikalische Untersuchung der Limmat 27
   8.1. Allgemeines 27
   8.2. Wassertemperatur 28
   8.3. pH-Wert 29
   8.4. Elektrische Leitfähigkeit, Karbonathärte 30
   8.5. Gesamthärte, Karbonathärte, bleibende Härte 32
   8.6. Anorganischer Stickstoff: Ammonium-N, Nitrit-N, Nitrat-N 32
   8.7. Organischer Stickstoff 35
   8.8. Anorganischer Phosphor: Phosphat-P, Gesamt-P 36
   8.9. $BSB_5$ und $KMnO_4$-Verbrauch 37
   8.10. Sauerstoff und Sauerstoffsättigung 38
   8.11. Chloride 40
   8.12. Schwermetalle 41
   8.13. 24-Stunden-Untersuchung 41
   8.14. Der Chemismus des Limmatwassers im Vergleich mit der eidgenössischen Verordnung über Abwassereinleitungen vom 8.Dezember 1975 (Stand 1.April 1977) 42
   8.15. Heutiges Gütebild der Limmat in chemischer Hinsicht 44
   8.16. Zunahme der Stofffracht der Limmat unterhalb der ARA Werdhölzli 47
   8.17. Chemismus des Limmatwassers 1975-1978 im Vergleich zu 1943/44 49

9. Bakteriologische Untersuchung des Limmatwassers 50
9.1. Allgemeines 50
9.2. Coliforme Keime 50
9.3. Enterokokken 52
9.4. Gesamtkeimzahl 53

10. Biologische Zusammensetzung des Aufwuchses der Limmat 54
10.1. Allgemeines 54
10.2. Systematik der markanten und dominanten Organismen des Aufwuchses der Limmat 55
10.2.1. Algen 55
10.2.2. Ciliaten 60
10.3. Resultate der biologischen Untersuchungen der Limmat 61
10.4. Auswertung der Resultate der biologischen Untersuchungen 75

11. Primärproduktion des Aufwuchses der Limmat 82
11.1. Allgemeines 82
11.2. Resultate der Produktionsmessungen 82
11.3. Auswertung der Resultate der Produktionsmessungen 83

12. Makrophytenvegetation an der Limmat 92

13. Oekologie und Saprobie der Limmat 93
13.1. Saprobiensysteme 93
13.2. Saprobie und Trophie 94
13.3. Berechnung der Saprobität 95
13.4. Die Organismen des Aufwuchses der Limmat als Indikatoren 95
13.5. Auswertung der Saprobitätsuntersuchungen für die Limmat 97
13.5.1. Allgemeines 97
13.5.2. KNOEPP-Methode 97
13.5.3. PANTLE und BUCK-Methode 99
13.5.4. Vergleich der Werte nach KNOEPP und nach PANTLE und BUCK 100
13.6. Die Einstufung der Probenahmestellen der Limmat im Saprobiensystem 100

14. Statistische Auswertung 103
14.1. Allgemeines 103
14.2. Jahreszeitliches Vorkommen von Einzelorganismen 103
14.2.1. Statistische Prüfung mit Berücksichtigung der Einzelfunde 103
14.2.2. Statistische Prüfung ohne Berücksichtigung der Einzelfunde 104
14.3. Jahreszeitliches Vorkommen von Artengruppen 107
14.4. Häufigkeitsunterschiede von Einzelorganismen zwischen den Probenahmestellen der Limmat (Mittelwertvergleiche) 108
14.4.1. Berechnung und Signifikanzgrenze des Unterschiedes 108
14.4.2. Resultate der Mittelwertvergleiche 108
14.5. Einfluss chemischer Parameter auf die Häufigkeit des Vorkommens der Aufwuchsorganismen 116

15. Zusammenhang Chemismus - Bakteriologie - Biologie - Primärproduktion - Saprobität 117
15.1. Gesamtbilanz für die einzelnen Probenahmestellen 117
15.2. Gesamtbilanz für die Limmat zwischen Zürich und Wettingen 118
15.2.1. Quaibrücke Zürich bis Einlauf der ARA Werdhölzli 119
15.2.2. Werdhölzli bis Autobahnbrücke Geroldswil 119
15.2.3. Autobahnbrücke Geroldswil bis Staumauer Wettingen 121
15.2.4. Unterhalb Staumauer Wettingen 121

16. Zusammenfassung der Arbeit 123

17. Verdankungen 126

18. Literaturverzeichnis 127

# 1. EINLEITUNG

In die Abwasserreinigungsanlage (=ARA) Werdhözli der Stadt Zürich fliesst das Abwasser aus dem Einzugsgebiet von 65 $km^2$ (PROJEKTIERUNGSBERICHT 1977). Es umfasst Stadtgebiet beidseits des Zürichsees und des Limmattals sowie die Nachbargemeinden Zollikon und Kilchberg. Total sind dies die Abwässer von 320 000 Einwohnern sowie etwa gleichviel Einwohnergleichwerte aus Industrie und Gewerbe; diese Abwässer müssen von der Limmat aufgenommen werden.

Die erste Kläranlage wurde im Werdhölzli 1924-26 erbaut und 1930-32 (mechanische Reinigung des Abwassers) erweitert. 1960-69 fand ein zweiter Ausbau statt, wobei zwecks Kosteneinsparung darauf verzichtet wurde, den biologischen Teil der Kläranlage voll auszubauen. 1966 hatte das Eidgenössische Departement des Innern Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer erlassen. Die Qualität des in der ARA Werdhölzli mechanisch und teilweise biologisch gereinigten Abwassers entsprach nach dem Ausbau diesen Richtlinien nicht, so dass eine neue Erweiterung ins Auge gefasst werden musste. Diesmal ist der Ausbau grosszügig geplant, soll doch die ganze Anlage vierstufig erstellt werden: mechanische und biologische Reinigung, Fällung der Phosphate, Filtration. Damit wird die Reinigungsleistung der Anlage die Forderungen der seit 1975 gültigen eidgenössischen Verordnung über Abwassereinleitungen erfüllen. Die Kosten dieses Ausbaus sind auf 232 Millionen Franken veranschlagt; dieser Kredit wurde von den Stimmberechtigten der Stadt Zürich am 28.Mai 1978 mit einem Ja-Stimmenanteil von 94,4 % bewilligt, so dass in nächster Zeit mit dem Bau begonnen werden kann. Da man mit einer Bauzeit von etwa sechs Jahren rechnet, ist die Stadt Zürich nicht in der Lage, bis zu dem vom Gewässerschutzgesetz geforderten Termin im Jahre 1982 ihre Abwasserverhältnisse zu sanieren. Bund und Kanton stimmten einer Fristerstrekkung bis 1985 zu.

1974/75 machte ich mich in einer Diplomarbeit über "Biologische Verschmutzungsanzeiger in der Limmat von Zürich bis Wettingen"

(WAELTI 1975) mit den Problemen der Verschmutzung der Limmat vertraut. Bei Abschluss dieser Arbeit zeigte sich, dass noch viele ungelöste Probleme vorhanden waren, deren Bearbeitung für den Gewässerschutz an der Limmat wichtig erschienen. Ein Teil dieser Forschungsprobleme soll mit Hilfe der vorliegenden Arbeit gelöst werden; die praktischen Untersuchungen dazu erfolgten von Ende 1975 bis Herbst 1978. Seit 1974 wird die Limmat im Rahmen eines grösseren Programmes von der limnologischen Abteilung des Kantonalen Laboratoriums Zürich in chemischer und bakteriologischer Hinsicht untersucht. Die Ergebnisse dieser monatlichen Erhebungen standen für die Auswertung meiner biologischen Befunde zur Verfügung.
Die vorliegende Arbeit entstand unter der Leitung von Prof.Dr. E.A.Thomas an der Hydrobiologisch-limnologischen Abteilung des Institutes für Pflanzenbiologie der Universität Zürich. Zur Zeit wird gleichenorts von B.Betschart eine weitere Untersuchung über die Limmat durchgeführt, worin die Eutrophierung des Limmatwassers durch die eingeleiteten Abwässer behandelt wird. Beide Arbeiten wurden vom Tiefbauamt der Stadt Zürich aus dem Projektierungskredit für den Ausbau der ARA Werdhölzli gefördert.
Seit bald hundert Jahren befassten sich verschiedene Forscher mit der Biologie, der Bakteriologie und dem Chemismus des Limmatwassers: SCHLATTER (1890), THOMANN (1900), LIMANOWSKA (1912), SULZER (1913), ROTH (1917), WASER, HUSMANN UND BLOECHLIGER (1938), THOMAS (1946,1948) und MAERKI (1961). Die ersten Arbeiten geben Hinweise darauf, in welchem Zustand sich der Fluss vor der grossen Industrialisierung unseres Jahrhunderts befand; die zuletzt erwähnten Veröffentlichungen zeichnen ein Bild der Limmat, wie es sich zu Beginn der aus der Sicht des Gewässerschutzes schlimmsten Zeit zeigte. Es sei hier nochmals erwähnt, dass eine biologische Reinigung der Abwässer an der Limmat erst seit Ende der sechziger Jahre vorgenommen wird.

## 2. PROBLEMSTELLUNG

In der vorliegenden Arbeit soll der biologische Zustand der Limmat von Zürich bis Wettingen dargestellt werden. Da die Limmat auf dieser Strecke vor allem durch die Abwässer der ARA Werdhölzli der Stadt Zürich beeinflusst wird, interessierte uns besonders deren Einfluss. Die Charakterisierung des biologischen Zustandes erfolgte auf Grund der Zusammensetzung des Aufwuchses und dessen Primärproduktion in der Periode von 1975-1978.
Schon in einer früheren Arbeit wurde versucht, den örtlichen Verschmutzungsgrad durch Schätzung der Häufigkeiten von Sphaerotilus, markanten Algen und dominanten Ciliaten zu erfassen (WAELTI 1975). Dieses Verfahren übernahm ich und verfeinerte es. Neu ins Untersuchungsprogramm aufgenommen wurde die Bestimmung der Primärproduktion des Aufwuchses mit Hilfe einer $^{14}C$-Methode. Wir erwarteten, dass die Produktionsleistung verschiedener Stellen der Limmat von deren Verschmutzungsgrad abhängt. Unseres Wissens sind Untersuchungen dieser Art in fliessenden Gewässern der Schweiz noch nie in grösserem Umfang durchgeführt worden, wahrscheinlich wegen des damit verbundenen Aufwandes.

## 3. GEOGRAPHISCHE SITUATION DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

### 3.1. Einzugsgebiet der Limmat

Als Zufluss der Aare zählt das Einzugsgebiet der Limmat zum Flusssystem des Rheins. Insgesamt werden über die Limmat 2416 $km^2$ entwässert; aus einem Gebiet von 1829 $km^2$ fliesst das Wasser zuerst durch den Zürichsee; der Rest von 587 $km^2$ wird von den direkten Limmatzuflüssen wie Sihl, Reppisch, usw. entwässert (WALSER 1962). Die nördliche Grenze des Einzugsgebietes bilden Lägern, Zürichberg, Pfannenstiel, Bachtel, Kreuzegg, Speer und Churfirsten (Abb.1). Oestlichster Punkt ist Sargans; weiter verläuft die Grenze in südwestlicher Richtung über Graue Hörner, Piz Sardona, Vorab, Hausstock, Piz Urlaun (südlichster Punkt) zum Tödi. Richtung Nordwesten erreicht sie via Claridenstock, Ortstock, Silbern, Mythen, Albis und Heitersberg unterhalb von Turgi die Aare.

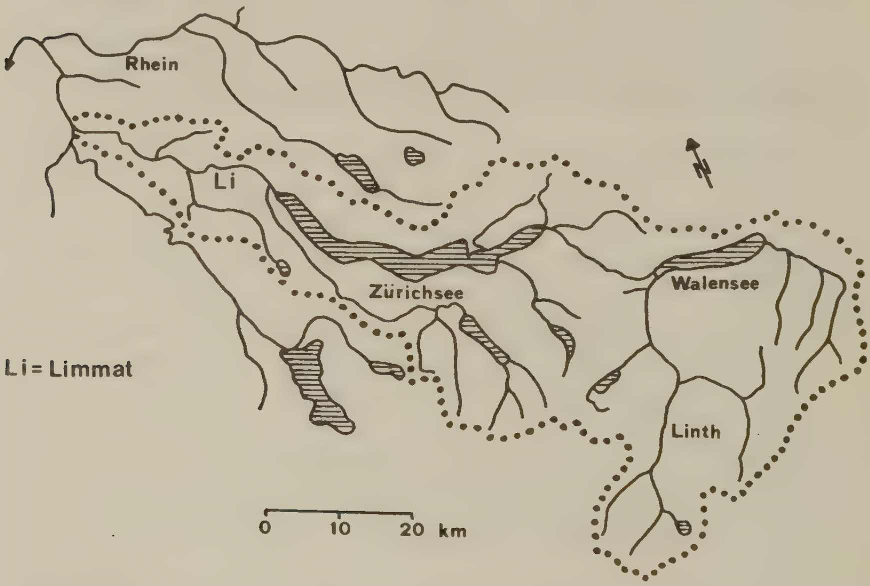


Abbildung 1: Uebersichtskarte des Linth - Limmatgebietes.
•••• Grenze des Einzugsgebietes

Nach dem HYDROGRAPHISCHEN JAHRBUCH (1976) liegt der höchste von der Limmat entwässerte Punkt auf dem Tödi (3623 m), während die Mündung in die Aare noch 327 m über Meer liegt. Die mittlere Höhe des gesamten Gebietes beträgt 1120 m; 33,5 $km^2$ sind vergletschert. Total sind etwa 140 $km^2$ des Einzugsgebietes von Seen bedeckt: natürlich entstanden sind Walensee, Zürichsee und Türlersee; Stauseen sind Sihlsee, Wägitalersee, Klöntalersee, Limmernsee und Glarner Obersee.
Von etwa 900 000 Einwohnern gelangt das Abwasser direkt oder indirekt in die Limmat. Auch wenn es grösstenteils gereinigt ist, belastet es die Natur trotzdem. Zu der hohen Bevölkerungsdichte von ungefähr 370 Einwohnern pro $km^2$ (Schweiz total 153 EW/$km^2$, mündliche Angaben statistisches Amt des Kantons Zürich), kommt noch die starke Belastung durch Industrieanlagen hinzu.

## 3.2. Geologie des Limmatverlaufs

Die eigentliche Limmat fliesst vom Ausfluss des Zürichsees bei der Quaibrücke (406 m) über 36,6 km mit 79 m Höhendifferenz bis zur Einmündung in die Aare unterhalb von Turgi (327 m). Dies ergibt ein mittleres Gefälle von 2,2 ‰. Die Kantone Zürich und Aargau teilen sich je etwa zur Hälfte in die Fliessstrecke. In der Stadt Zürich durchbricht die Limmat zuerst den Moränenwall beim Lindenhof. Unterhalb der Sihlmündung wird die Ebene von fluvioglazialen Kiesmassen der letzten Eiszeit gebildet (SUTER und HANTKE 1962); die beidseitigen Grenzen sind Moränenhügel. In früheren Zeiten konnte der Fluss im Limmattal sein Bett mehr oder weniger frei suchen, was zeitweise zu grossen Ueberschwemmungen führte. Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurde die Limmat begradigt und mit künstlichen Uferdämmen gesichert. Unterhalb der zürcherischen Kantonsgrenze frass sie sich in die unter dem Kies liegende Molasse ein, was seit 1933 durch das Stauwehr Wettingen verhindert wird. Entlang der Limmat findet man praktisch keine natürlichen Ufer, nur gerade im Wettinger Staugebiet sind die Ränder wenig verbaut, weil sich hier der Fluss vor dem Aufstau in feste, nagelfluhähnlich verkittete

Schottermassen eingefressen hatte. Der Eindruck von Natürlichkeit wird in dieser Gegend noch erhöht, indem die Ufer des Stausees teilweise dicht mit Schilf bewachsen sind.

### 3.3. Stauwerke und Wehre der Limmat

Die Wasserkraft der Limmat wird seit Jahrhunderten zur Energiegewinnung genutzt. Früher benützte man an zahlreichen Stellen die direkte Antriebskraft des Wassers, zum Beispiel für Mühlen Spinnereien, usw.; in diesem Jahrhundert kamen Elektrizitätswerke dazu. Heute wird die Wasserkraft nirgends mehr direkt genutzt; man findet neben kleineren Wehren, die zur Ableitung von Wasser dienen (Brauchwasser in der Industrie), zwischen der Quaibrücke und Turgi folgende Stauwehre:

- Drahtschmidli: Regulierung des Zürichseeabflusses und des Zulaufs zum Kraftwerk Letten,
- Letten: Elektrizitätswerk der Stadt Zürich,
- Höngg: ältestes noch betriebenes Kraftwerk, ursprünglich Mühle Altstetten, seit 1973 Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (das Höngger Wehr wird 1978-1980 um 30 m flussabwärts verschoben und das Kraftwerk erneuert),
- Dietikon: Elektrizitätswerk des Kantons Zürich,
- Wettingen: Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, grösstes Werk an der Limmat mit einem Rückstau von etwa 9 km,
- Damsau: frühere Spinnerei, Betrieb durch Werk Wettingen ausgeschaltet,
- Aue Baden: Aargauische Elektrizitätswerke,
- Chappelerhof: Aargauische Elektrizitätswerke.

### 3.4. Limmatzuflüsse von Zürich bis Wettingen

Das in der folgenden Liste stichwortartig charakterisierte Aussehen der Zuflüsse entspricht meinen persönlichen Eindrücken von vielen Augenscheinen während fast fünf Jahren.

- Sihl, Zürich: ungefähr 6 $m^3/s$; sieht meist relativ sauber aus,

ist aber stark veralgt. Schwankungen der Abflussmenge relativ gross. Nach Regenfällen führt sie während langer Zeit mineralische Schwebstoffe (Lehm und Erde), welche die linke Limmatseite von der Sihlmündung bis zum Höngger Wehr braun färben und auf dieser Strecke sedimentieren.

- ARA Werdhölzli: 3-6 $m^3/s$; drei Einlaufkanäle, 350 m oberhalb der Brücke der N1 über die Limmat. Gelbbraun, stinkend, häufig leichte Schaumbildung, Geschwemmsel, sehr unappetitlich.
- Riedbach, Schlieren: uneinheitlich, zeitweise mehr oder weniger sauber, dann wieder farbig durch Abwasser. Seit 1977 Zustand eher verbessert (mehr Anschlüsse an Kläranlage).
- Schäflibach, Dietikon: sieht ausser nach Regenfällen meist relativ sauber aus.
- Länggenbach, Dietikon: stark veralgt. Eindruck: eher schmutzig.
- ARA Limmattal, Dietikon: ca. 0,5 $m^3/s$; meist Schaumberge.
- Reppisch, Dietikon: von Auge sauber, Wasserführung schwankt stark, viele Algen. Der Zustand scheint jetzt besser zu sein als vor fünf Jahren.
- ARA Killwangen: Einlauf nicht sichtbar. Anlage 1977 vergrössert.
- Furtbach, Würenlos: stark verschmutzt. Seit 1977 dank der Erstellung von Kläranlagen im Furttal langsame Besserung.
- Lugibach, Wettingen: stark verschmutzt.

Weitere Verschmutzungsquellen sind die Hochwasserentlastungen der örtlichen Kanalisationen. Bei extrem niedriger Wasserführung im März 1976 wurden zwischen dem Drahtschmidli in Zürich und dem Beginn des Rückstaus des Wettinger Werkes unterhalb Dietikon weit über 100 Röhren gezählt, welche in die Limmat einmünden. Die Herkunft all dieser Abläufe ist meist nicht klar; ein Teil hat heute anscheinend keine Aufgabe mehr, andere dürften aber auch weiterhin bei erhöhtem Wasseranfall ungereinigtes Schmutzwasser bringen, was nicht sichtbar ist, weil der Fluss dann ebenfalls einen höheren Wasserstand hat. Auf dem Gebiet der Stadt Zürich sind heute neben vielen kleineren noch die grossen Hochwasserüberläufe Pfingstweid und Hardturm in Betrieb.

# 4. UNTERSUCHUNGSPROGRAMM UND METHODIK

## 4.1. Probenahmestellen der biologischen Untersuchungen

Bei der Wahl der Probenahmestellen wurden charakteristische Punkte oberhalb und unterhalb der ARA Werdhölzli berücksichtigt. Besichtigungen der ganzen Limmatstrecke hatten für die erste Untersuchung im Jahre 1974 zu 10 Probenahmestellen geführt. Diese Zahl erwies sich als zu gross; für die vorliegende Arbeit wurden daher noch 6 Stellen gewählt (Abb.2):
(Die Koordinatenangaben beziehen sich auf die Blätter 1090 Zürich und 1070 Baden der Landeskarte 1:25 000.)

- Hr = Limmat beim Hardturmsteg Zürich, rechte Flusseite. Koordinaten 681 175/249 850. Der Flussgrund besteht in Ufernähe aus grossen Kieselsteinen von etwa 3-15 cm Durchmesser, wenig Sand.
- El = Limmat bei der Engstringerbrücke (Unterengstringen-Schlieren), linke Flusseite. Koordinaten 676 250/251 425. Der Flussgrund besteht in Ufernähe aus grossen Kieselsteinen von etwa 2-10 cm Durchmesser, dazwischen Schlamm und Sand.
- Er = Limmat bei der Engstringerbrücke (Unterengstringen-Schlieren), rechte Flusseite. Koordinaten 676 400/251 450. Der Flussgrund besteht in Ufernähe aus Sand und grossen Kieselsteinen von etwa 3-10 cm Durchmesser.
- Il = Limmat bei der Industriebrücke (Schlieren-Hard-Dietikon), linke Flusseite. Koordinaten 675 075/250 525. Der Flussgrund besteht in Ufernähe aus Steinen von etwa 10-25 cm Durchmesser, kein Sand.
- Ir = Limmat bei der Industriebrücke (Schlieren-Hard-Dietikon), rechte Flusseite. Koordinaten 675 050/250 575. Der Flussgrund besteht in Ufernähe aus Steinen von etwa 5-15 cm Durchmesser, kein Sand.
- Ki = Limmat bei der Brücke Killwangen-Würenlos, linke Flussseite. Koordinaten 669 250/254 125. Der Flussgrund besteht in Ufernähe aus Sand; nur wenig grosse Kieselsteine von etwa 3-8 cm Durchmesser.

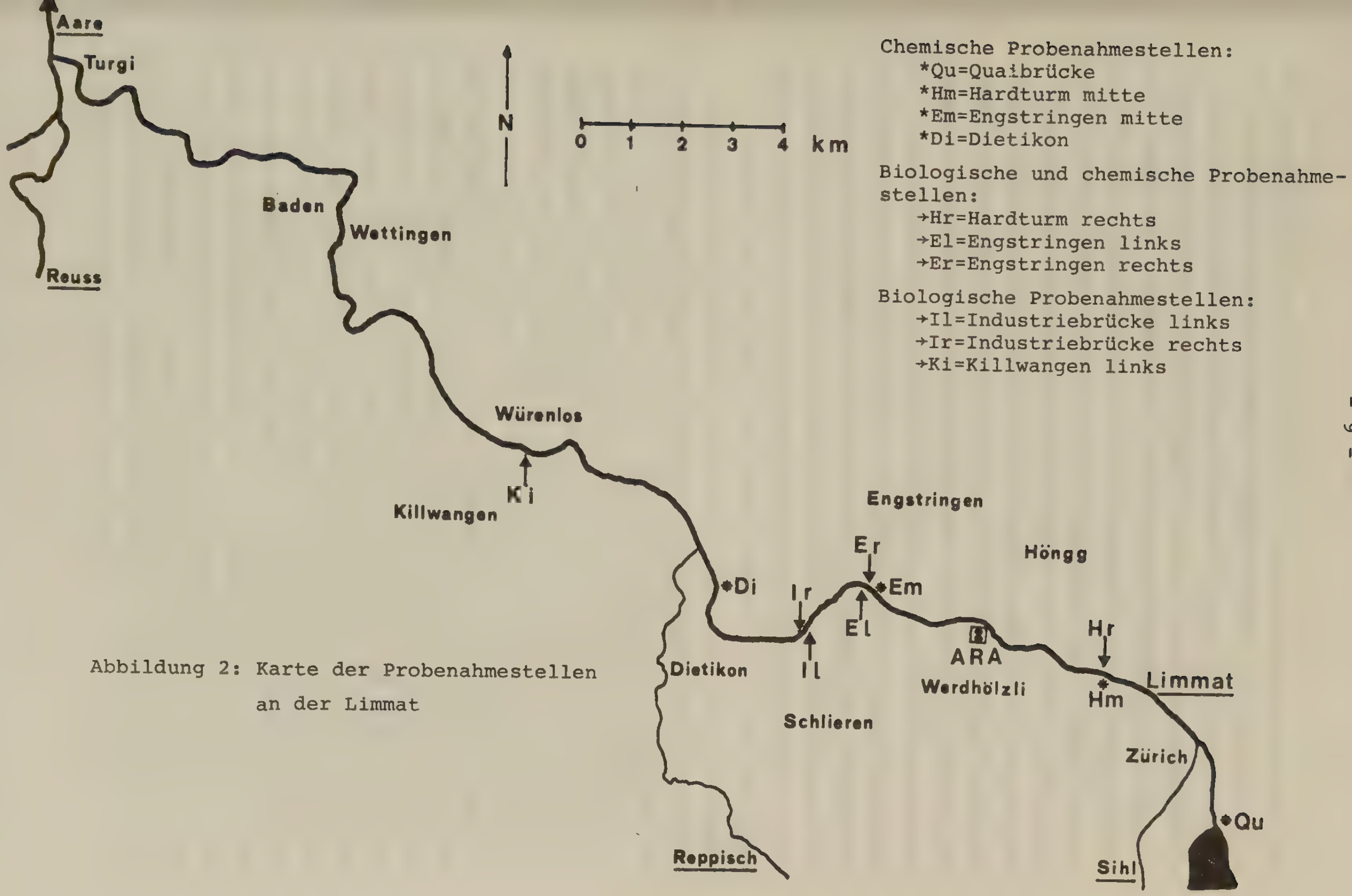


Abbildung 2: Karte der Probenahmestellen an der Limmat

Die Probenahmestellen mussten unter anderem folgende Bedingunggen erfüllen: gute Zufahrtsmöglichkeiten, Zugänglichkeit bei jedem Wasserstand gewährleistet, Neigung des Flussgrundes in Ufernähe nur schwach, so dass Flussboden auch bei geringer Abflussmenge mit Wasser überdeckt ist. Diese Kriterien werden nur von relativ wenig Punkten an der Limmat erfüllt.

Die Stelle Hr liegt als einzige oberhalb der ARA Werdhölzli. Sie bildet damit gewissermassen die Referenz, mit der die unterhalb der Kläranlage liegenden Punkte verglichen werden. Das Seewasser trifft hier nach einer Fliessstrecke von 4 km ab Quaibrücke ein. Findet auf dieser Strecke keine Verschmutzung durch Abwasser statt, so ist zu erwarten, dass die Wasserqualität dank der Selbstreinigungskraft des Flusses eher noch besser ist als im See. Es darf aber nicht vergessen werden, dass zwischen Quaibrücke und Hardturmsteg die Limmat an zwei Orten gestaut wird (Drahtschmidli und Letten). Dieser Einfluss auf die Wasserqualität ist nicht bekannt. Ohne Einwirkung auf die rechte Flusseite bleibt hingegen der Einlauf der Sihl unterhalb des Platzspitz. Das Sihlwasser wird erst im Höngger Staugebiet ganz mit der Limmat vermischt.

1,5 km nach dem Hardturmsteg wird die Limmat durch das Höngger Wehr gestaut. Nochmals 1,5 km weiter flussabwärts folgt der Einlauf der ARA Werdhölzli. Die Einleitungskanäle für das Abwasser liegen in der linken Flusseite; dies wirkt sich nachher während einiger Kilometer aus (vergleiche Kap. 6), indem die linke Seite viel stärker belastet ist als die rechte. 2 km unterhalb der Kläranlage folgt die Engstringerbrücke mit den beiden Stellen El und Er, welche grundverschieden aussehen. El zeigt typische Merkmale stark verschmutzter Gewässer, während die Limmat auf der rechten Seite noch sauber erscheint.

Bereits 1,5 km nach El und Er kommen die Probenahmestellen Il und Ir. Sie mussten knapp unterhalb Engstringen gewählt werden, weil kurz darauf der Rückstau des Dietiker Wehres beginnt. Zwischen der Industriebrücke und dem Wehr erfüllt keine Stelle alle oben aufgestellten Kriterien. Il und Ir sind aber repräsentativ, weil hier die Abwässer der Kläranlage meistens ganz mit

dem Limmatwasser vermischt sind. 2,5 km unterhalb der Industriebrücke liegt das Dietiker Wehr, was gewisse Einflüsse auf die Wasserqualität der Limmat haben kann.
6 km unterhalb Dietikon folgt Killwangen, die unterste Probenahmestelle. Der Ort liegt 4 km oberhalb der Staumauer Wettingen. Hier wird von einem Stausee gesprochen, da die Fliessgeschwindigkeit sehr gering ist. Auch die Ufervegetation (Schilf) erinnert an stehende Gewässer. Ki wurde gewissermassen als Kontrolle gewählt, um zu sehen, welche Unterschiede zwischen dem Seewasser (Hr) und dem Limmatwasser nach längerer Fliessstrecke bestehen. Als Kontrolle hätte sich eigentlich eine Stelle im fliessenden Wasser unterhalb der Staumauer Wettingen aufgedrängt. Anlässlich der ersten Untersuchung zeigte sich aber, dass Wasserchemismus, bakteriologischer Befund und biologischer Zustand unterhalb der Staumauer grundverschieden von den Verhältnissen bei Killwangen sind, so dass ein falsches Bild entstehen würde.

## 4.2. Material und Exposition der Aufwuchssubstrate

Ueber das Auslegen künstlicher Substrate zur Erfassung des Aufwuchses berichten LIEBMANN (1962), SLADECKOVA (1962), SCHWOERBEL (1966), BACKHAUS (1967), TIPPETT (1970), NUSCH (1971), MOERGELI (1974). Mit Hilfe ausgelegter Substrate können sowohl Vergleiche einer bestimmten Stelle im jahreszeitlichen Ablauf, als auch einer bestimmten Periode an verschiedenen Punkten gezogen werden. Als Material werden Glasplatten, Plastikfolien, Keramikplatten, Backsteine, Ziegelsteine, Objektträger und weiteres mehr eingesetzt. Der Einfluss von Farbe, Grösse und Oberflächenbeschaffenheit des Materials auf die Besiedelung scheint dabei gering zu sein. Bei unserer Limmatuntersuchung wurden mit allen diesen künstlichen Substraten Vorversuche durchgeführt, jedoch ohne Erfolg. Weil die Probenahmestellen einigermassen gut zugänglich sein mussten, waren die Substrate zu auffällig, was die Neugier von Spaziergängern, Fischern und spielenden Kindern weckte. Manchmal wurden die Substrate schon nach drei Tagen nicht mehr gefunden, manchmal erst nach einem Monat.

Aus diesen Gründen musste eine eigene Methode entwickelt werden: in einem Kieswerk wurden knapp faustgrosse Steine mit glatter Oberfläche geholt, sorgfältig gereinigt und auf einer Seite mit einer Kennzahl markiert. Schwimmbadfarbe erwies sich als am besten geeignet. Pro Serie wurden je 20-25 dieser markierten Steine mit der Nummer nach unten an die vorbereiteten Probenahmestellen gelegt (Abb.3). Die Steine konnten dabei in verschiedene Wassertiefen gebracht werden. So war gewährleistet, dass einige immer von Wasser überdeckt waren. Schon nach wenigen Tagen nahmen die anfänglich durch ihre saubere Oberfläche herausstechenden Steine die Farbe ihrer Umgebung an, so dass sie nicht mehr besonders auffielen. Wöchentliche Kontrollgänge entlang der Limmat erlaubten, je nach Wasserstand die Substrate mittels eines Steingreifers weiter hinaus zu bringen oder näher ans Ufer zu nehmen. Dies war insgesamt nur zweimal nötig, weil die Steine normalerweise so gelegt werden konnten, dass sie immer von Wasser überdeckt waren.

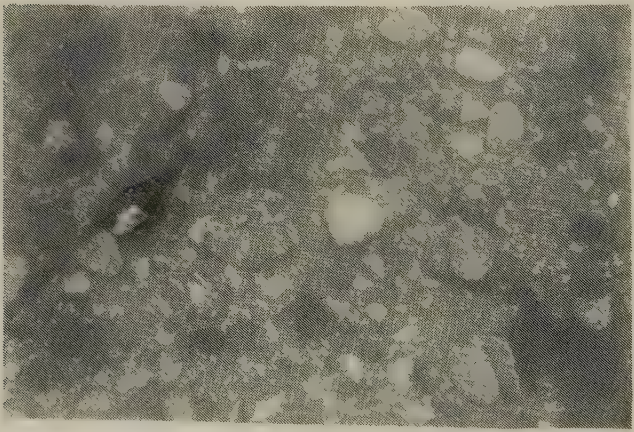

Abbildung 3: Frisch ausgelegte Substrate (helle Steine) an der Probenahmestelle Killwangen.

### 4.3. Expositionszeit und Entnahme der Aufwuchssubstrate

Aus verschiedenen Versuchen ergab sich, dass nach etwa 7 bis 8 Wochen die ausgelegten Steine bewachsen waren. Um die jahreszeitlich bedingten Aenderungen des Aufwuchses festhalten zu können, wurden die Steine nach der erwähnten Zeit herausgenommen und durch eine neue Serie ersetzt. Aus verschiedenen Gründen schwankte die Expositionszeit schliesslich zwischen 7 und 11 Wochen. Zwischen dem 8.Dezember 1975 und dem 10.November 1978 ergaben sich total 20 Untersuchungsperioden. Normalerweise wurden je drei Probenahmestellen zusammen bearbeitet und als Kontrolle noch einmal ein Stein von jedem Ort geholt, wobei hin und wieder auch ein schon länger im Fluss liegendes Substrat untersucht wurde.

Von den 20 bis 25 pro Serie ausgelegten Steinen waren meist etwa 10 bis 15 noch brauchbar. Ein Teil lag entweder zu tief im Wasser oder hatte trockengelegen; der Rest war nicht mehr auffindbar. Bis zu einer Abflussmenge von etwa 140-150 $m^3/s$ in Zürich-Unterhard war es möglich, mit dem Steingreifer die Substrate aus dem Fluss zu nehmen; bei stärkerer Strömung konnte das Gerät nicht mehr gehalten werden. Es gab nur selten Perioden, in denen während mehr als einer Woche konstant eine höhere Abflussmenge herrschte.

Abb.4 zeigt bewachsene Steine nach 8 Wochen an der Probenahmestelle Killwangen. Nicht immer und überall war der Aufwuchs so dicht und so homogen verteilt, wie auf der Foto.

Für die eigentliche Untersuchung nahm ich die Steine heraus und schätzte die durchschnittliche Aufwuchsdichte mit einer Skala von 1 (wenig) bis 3 (viel); mit der gleichen Skala wurde auch die Sedimentmenge (Detritus) festgehalten. Weiter gehörte zum makroskopischen Untersuchungsbefund, ob der Aufwuchs vor allem krusten-, haut-, pelz oder fadenförmig war (THOMAS 1975). Im allgemeinen dominierten auf den Steinen die fädigen Algen von etwa 0,3 bis 1,5 cm Länge.

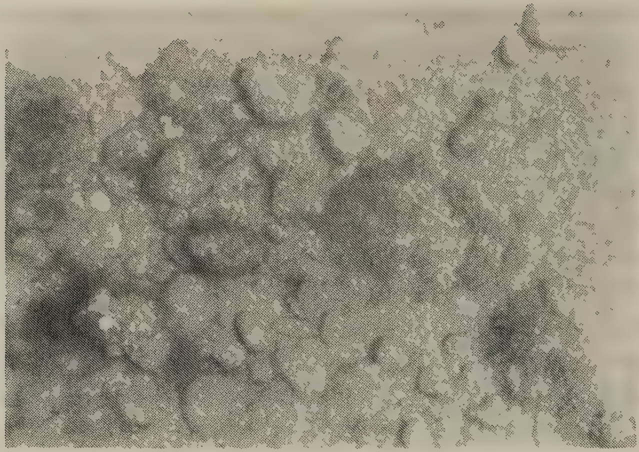

Abbildung 4: Bewachsene Steine an der Stelle Killwangen, nach 8 Wochen.

## 4.4. Bestimmung und Schätzung der Häufigkeiten von Organismen des Aufwuchses

Periphyton (epilithischer Aufwuchs) umfasst nach WETZEL (1964) und WESTLAKE (1965) alle sessilen tierischen und pflanzlichen Organismen ausser Makrophyten, welche auf untergetauchten Substraten dauernd leben.
Die vorliegende Arbeit will in der Limmat diejenigen biologischen Verschmutzungsanzeiger des Aufwuchses erfassen, welche entsprechend dem örtlichen Verschmutzungsgrad in Erscheinung treten. Früher war es in der Limmat unter dem Einfluss der mangelhaft gereinigten Abwässer der ARA Werdhölzli zu rasen- und bartartigen Bildungen von Sphaerotilusmassen (THOMAS 1948) und zu Algenwucherungen gekommen. In den Bakteriengebilden vermehrten sich Ciliaten in üppiger Art und Weise. Aus diesem Grund wurden zur Charakterisierung des biologischen Zustandes der Limmat Sphaerotilus, markante Algen und dominante Ciliaten bestimmt und die Häufigkeit ihres Vorkommens im Aufwuchs geschätzt.

Bei Sphaerotilus handelt es sich um den sogenannten Abwasserpilz, ein Scheidenbakterium. Einzelfäden von Sphaerotilus sind auch als Cladothrix dichotoma bekannt. Die markanten Algen umfassen litoral im Aufwuchs lebende Grün-, Blau- und Kieselalgen. Bei den dominanten Ciliaten werden nur Organismen der Ordnung Peritricha erfasst.
Folgende Bestimmungsbücher wurden für die Algen gebraucht: BOURELLY (1966, 1968, 1970), FOTT (1971), HUSTEDT (1959, 1962), KALBE (1973), KLOTTER (1970), LINDAU und MELCHIOR (1971), MEISTER (1912), PRESCOTT (1970), STREBLE und KRAUTER (1973), WARD and WHIPPLE (1959).
Zur Bestimmung der Ciliaten dienten:
BICK (1972 a), BICK (1972 b), CURDS (1970), JAHN (1949), KAHL (1935), SCHOENICHEN (1927), STREBLE und KRAUTER (1973).
In Abb.5 sind die Häufigkeiten für die verschiedenen Organismengruppen schematisch dargestellt (Idee: Prof.Dr. E.A.Thomas). Der Einsatz von Häufigkeitsskalen wird in der Hydrobiologie zum Beispiel bei NORDWUERTEMBERG (1959), KOTHE (1962), LIEBMANN (1962), SCHWOERBEL (1966), BACKHAUS (1967) und UHLMANN (1975) diskutiert. Die sechsteilige Skala von 1 bis 6 hatte sich bereits in der ersten Untersuchung bewährt, so dass sie beibehalten wurde. Sie erlaubt eine gute Abstufung, ohne die Anforderungen einer zehnteiligen Skala zu stellen.
In der Praxis wurde unter dem Mikroskop jedesmal solange der Aufwuchs von mindestens drei Steinen einer Probenahmestelle abgesucht bis alle markanten beziehungsweise dominanten Organismen und ihre Häufigkeit bestimmt waren.

### 4.5. Bestimmung der Primärproduktion des Aufwuchses ($^{14}C$-Methode)

Die bewachsenen Steine transportierte ich gekühlt in Limmatwasser der betreffenden Probenahmestelle ins Labor. Zusätzlich wurden von jeder Stelle 2 Liter Wasser entnommen, der pH-Wert und die Temperatur bestimmt.
Auf drei für die Produktionsmessung ausgewählten Steinen wurde eine homogen bewachsene Fläche angezeichnet und der Rest mit

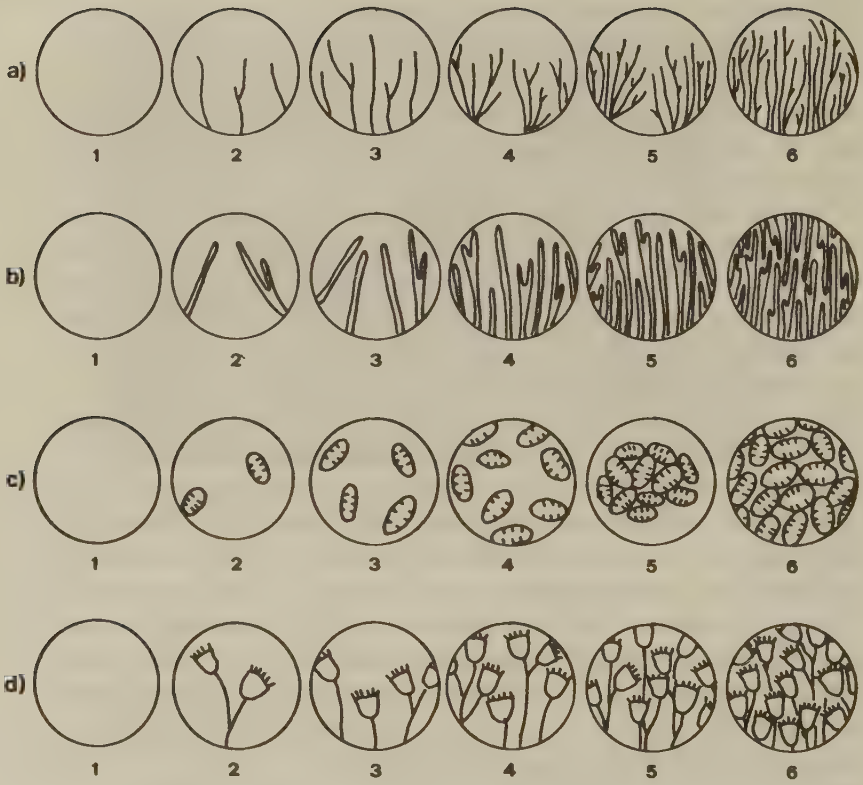


Abbildung 5: Ausschnitte des Gesichtsfeldes des Mikroskopes.
Häufigkeitsstufen von a) Sphaerotilus
b) fädigen Algen
c) Kieselalgen
d) Ciliaten

1 = kein Vorkommen; 2 = seltener Einzelfund, bei Sphaerotilus seltene Einzelfäden; 3 = häufiger Einzelfund, bei Sphaerotilus häufige Einzelfäden; 4 = häufig, bei Sphaerotilus Büschel mikroskopisch sichtbar; 5 = sehr häufig (koloniebildend), bei Sphaerotilus graue Flecken an herausgenommenen Steinen makroskopisch sichtbar; 6 = massenhaft (dominant), bei Sphaerotilus Kolonien im Wasser sichtbar.

einer Bürste sorgfältig gereinigt. Die drei Steine legte ich in ein Glasaquarium, welches 750 ml Limmatwasser der jeweiligen Probenahmestelle enthielt. Anschliessend wurde in jeden Behälter radioaktiv markiertes $NaH^{14}CO_3$ zugegeben. Die Aktivität dieser 2 ml Lösung war nach der Methode von VOLLENWEIDER (1974) bestimmt worden (8 µCi). In den Aquarien überdeckte das markierte Wasser die Steine um etwa 2 cm. Alle Gefässe standen in einem thermostatisierten Wasserbad, welches die aktuelle Flusstemperatur aufwies. Damit gab es für den Aufwuchs keine Temperaturänderung. Eine Lampe "Palomar Cultura" (spezielles, für Pflanzen geeignetes Spektrum) beleuchtete während dreier Stunden die Steine. An der Wasseroberfläche betrug die gemessene Lichtintensität 200-250 $\mu E\, m^{-2} s^{-1}$. Ein Laborrührer bewegte periodisch das Wasser in den Behältern.
Nach drei Stunden nahm ich die Steine aus den Aquarien, spülte sie eine Minute in frischem Wasser und übergoss sie anschliessend mit flüssigem Stickstoff. Damit war das organische Material fixiert und die Proben konnten bei -20 °C längere Zeit aufbewahrt werden.

## 4.6. Verarbeitung der Aufwuchsproben

Die Verarbeitung der Proben erfolgte nach einer von MUELLER (1976) übernommenen Methode, die leicht modifiziert wurde: auf einem gefrorenen Stein bestimmte ich die bewachsene Fläche; nach 5 Minuten kratzte ich den ganzen Aufwuchs in halbgefrorenem Zustand mit einem Spatel ab und exponierte ihn in einem Schälchen für 15 Minuten im Exsikkator über rauchender Salzsäure. Das Material wurde während 6 Stunden bei 105 °C getrocknet und anschliessend das Gewicht bestimmt.
Abb.6 zeigt die Verbrennungsapparatur, welche ähnlich wie bei EFFENBERGER (1962) aufgebaut wurde. Die Nassverbrennung des getrockneten Materials erfolgte mit den Oxidationsmischungen nach VAN SLYKE and FOLCH (1940). Wegen der hohen Temperatur im Reaktionsgefäss brauchte ich ein spezielles Schliffett (Hochvakuumfett "Glisseal", Firma Borer Chemie). Das Problem des gasdich-

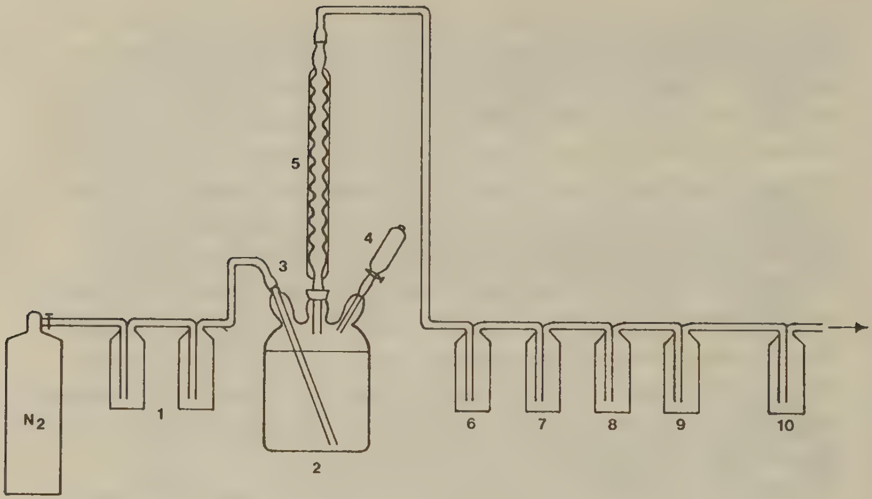


Abbildung 6: Verbrennungsapparatur nach EFFENBERGER (1962), verändert.

1 Gas-Waschflaschen mit KOH (Entfernen von $CO_2$ aus $N_2$)

2 Reaktionsgefäss mit Probe und "Van Slyke fest"-Mischung ($KJO_3$, $K_2Cr_2O_7$)

3 Einleitungsrohr für Trägergas $N_2$

4 Tropftrichter mit "Van Slyke flüssig"-Lösung ($H_3PO_4$, $H_2SO_4$, rauchende $H_2SO_4$)

5 Kühler

6 Gas-Waschflasche mit $K_2Cr_2O_7$ + $H_2SO_4$ (Entfernen von $SO_2$)

7 " " KJ + $H_2SO_4$ (Auffangen von $Cl_2$)

8 " " $Na_2S_2O_3$ (Auffangen von Joddämpfen)

9 " " $H_2SO_4$ (Auffangen von Wasserdampf)

10 Absorptionslösung (Aethanolamin, Aethylenglycolmonomethyläther) für $^{14}CO_2$

ten Verschlusses von Reaktionsgefäss und Deckel löste ich mit einem Verschlussring, welcher nach meinen Angaben hergestellt wurde. Speziell daran war, dass der Druck auf das Glas regelmässig verteilt war, so dass trotz hoher Temperaturen keine Spannungen auftraten. Weil die bei der Oxidation verwendeten Chemikalien Gummi- und Silikonschläuche angriffen, mussten alle Verbindungen zwischen den einzelnen Flaschen mit Glasröhren und Teflonschläuchen hergestellt werden.
Das Reaktionsgefäss wurde mit der Probe und der "Van Slyke fest"-Mischung gasdicht verschlossen. Während der ganzen Verbrennung strömte Stickstoff als Trägergas durch das System. Aus dem Tropftrichter wurden 35 ml "Van Slyke flüssig"-Lösung zugetropft. Eine Heizhaube erwärmte die Probe bis zur Siedetemperatur (350-400 °C), die 10 Minuten gehalten wurde. Nach Entfernen der Heizhaube, strömte noch 30 Minuten lang $N_2$ durch die Anlage, um alles $^{14}CO_2$ aus der Probe auszutreiben und in die Absorptionslösung (nach JEFFAY and ALVAREZ, 1961) überzuführen. In dieser Zeit kühlte sich das Reaktionsgefäss wieder bis auf etwa 50 °C ab.
Von der Absorptionslösung (18 ml) wurden drei Aliquote à 3 ml entnommen und zusammen mit 15 ml Scintillationslösung (nach JEFFAY and ALVAREZ, 1961: Toluol, Aethylenglycolmonomethyläther, PPO) im Liquid Scintillation Counter ("Isocap 300", Firma Nuclear Chicago) gezählt. Die Genauigkeit der angewandten Oxidationsmethode wurde mit einem $^{14}C$-Zucker geprüft: die Resultate von vier Verbrennungen differierten um ±3 % vom Mittelwert.

## 4.7. Chemische Untersuchungen

Seit Frühjahr 1974 wird der Chemismus des Limmatwassers regelmässig vom Kantonalen Laboratorium Zürich analysiert. Im ersten Jahr fanden diese Untersuchungen zweimal monatlich statt, seit April 1975 einmal pro Monat. Die Resultate der Bestimmungen standen für die Auswertung zur Verfügung. Leider stimmen nicht alle Probenahmestellen des Kantonalen Laboratoriums mit den Or-

ten der biologischen Untersuchungen überein; zudem wurden die Stellen im Laufe der Jahre gewechselt. Für die vorliegende Arbeit bedeuten die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen eine Bereicherung, weil sowohl Analysen des Limmatwassers oberhalb des Einlaufes der ARA Werdhölzli, als auch unterhalb vorliegen. Folgende Probenahmestellen wurden für die Auswertung der chemischen Daten berücksichtigt:

- Qu = Quaibrücke (35 Untersuchungen): Zürichseewasser.
- Hm = Hardturmsteg mitte (13 Untersuchungen): bei Hochwasser der Sihl sieht man an der braunen Farbe, dass diese das Limmatwasser bis zur Flussmitte zu beeinflussen vermag.
- Hr = Hardturmsteg rechts (13 Untersuchungen): entspricht der biologischen Probenahmestelle Hr. Es dürften keine grossen Unterschiede zur Quaibrücke auftreten.
- El = Engstringerbrücke links (35 Untersuchungen): entspricht der biologischen Probenahmestelle El. Optischer Eindruck: starker Einfluss des Abwassers der ARA Werdhölzli, Geschwemmsel, Boden zum Teil verschlammt.
- Em = Engstringerbrücke mitte (35 Untersuchungen): weil sich das Abwasser der ARA normalerweise auf die linken drei Viertel des Flusses ausbreitet, wird kein grosser Unterschied zu El erwartet.
- Er = Engstringerbrücke rechts (35 Untersuchungen): entspricht biologischer Probenahmestelle Er. Das Wasser scheint hier sauber zu sein; zeitweise tritt Schaum auf.
- Di = Kraftwerk Dietikon, Oberwasserkanal (13 Untersuchungen): das Wasser stammt aus dem Staugebiet des Werkes Dietikon. Dies hat wahrscheinlich gewisse Einflüsse auf die Wasserqualität. Es kann angenommen werden, das Abwasser sei an dieser Stelle mit dem ganzen Limmatwasser vermischt, so dass die Wasserbeschaffenheit homogen sein dürfte.

Drei der sieben Probenahmestellen liegen also oberhalb und vier unterhalb der ARA Werdhölzli. Von den oberhalb liegenden Stellen stimmt eine mit einer biologischen Probenahmestelle überein; unterhalb sind es zwei.

Das Kantonale Laboratorium bestimmte jeweils folgende Parameter: pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Gesamthärte, Karbonathärte, bleibende Härte, Ammonium-N, Nitrit-N, Nitrat-N, Kjeldahl-N (teilweise), Gesamt-N (teilweise), Phosphat-P, Gesamt-P, Sauerstoff, $BSB_5$, $KMnO_4$-Verbrauch und Chlorid.
Jedes Jahr wurde eine eigene Wasseranalyse an den biologischen Probenahmestellen vorgenommen; zudem wurde bei allen biologischen Untersuchungen der pH-Wert (pH-Meter, Firma Metrohm), der p- und m-Wert (Titration) und die Leitfähigkeit (Potentiograph, Firma Metrohm) bestimmt. Einige Male wurde auch der Sauerstoffgehalt an allen Stellen gemessen ($O_2$-Messgerät, Firma WTW). Weiter standen die Resultate der permanenten Messstation Baden (Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft) zur Verfügung. Hier werden dauernd Wassertemperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, $O_2$-Gehalt und $O_2$-Sättigung aufgezeichnet.
Ein Teil der Untersuchungsresultate lässt sich auch mit Ergebnissen chemischer Bestimmungen der Jahre 1943/44 (THOMAS 1946, 1948) vergleichen.

## 4.8. Bakteriologische Untersuchungen

Zusätzlich zu den chemischen Bestimmungen führte das Kantonale Laboratorium Zürich bakteriologische Untersuchungen des Limmatwassers durch. Auch diese Resultate standen zur Verfügung.
Gezählt wurden folgende Bakteriengruppen:
- Coliforme auf Endo-Agar, 48 Stunden bei 37° C inkubiert,
- Enterokokken, Membranfiltermethode (0,45 µm), auf Enterokokken-Agar, 48 Stunden bei 37° C inkubiert,
- Gesamtkeimzahl (=Koloniezahl), auf Plate Count-Agar, 120 Stunden bei 20° C inkubiert.

Es wurden während der Untersuchungszeit nicht immer die gleichen Probenahmestellen erfasst. Für die Stelle Qu liegen 35 Resultate vor, für Hr 13, für El 35, für Em 21, für Er 35, für Di 13 und für Ki ebenfalls 13.

## 5. ABFLUSSMENGEN DER LIMMAT 1975 -1978

Das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft in Bern unterhält an der Limmat zwei Messstationen (Limnigraphen); die Resultate der Messungen werden im Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz publiziert. In Zürich-Unterhard (oberhalb des Escher Wyss-Platzes) wird nur die Wasserführung registriert; in Baden befindet sich eine grosse Messstelle, wo ausser der Abflussmenge auch Wassertemperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt des Wassers aufgezeichnet werden. Alle Zahlen wurden mir freundlicherweise vom genannten Amt vor der Publikation zu Verfügung gestellt.

Das Wasser der Limmat stammt beim Pegel Unterhard (96,0 $m^3/s$ als langjähriges Mittel) durchschnittlich zu etwa 93 % aus dem Zürichsee; den Rest bringt die Sihl (6,6 $m^3/s$). An der Limmatpromenade in Baden werden als Durchschnitt 101 $m^3/s$ gemessen. Die Zunahme gegenüber Zürich stammt zu mehr als der Hälfte aus der ARA Werdhölzli, der übrige Teil aus der Reppisch, weiteren Bächen und kleineren Kläranlagen. Ganz unberücksichtigt bleibt der Abfluss in den grossen Grundwasserstrom des Limmattals. Im grossen Ganzen sind die Abflussverhältnisse in Zürich und Baden ähnlich. Wegen der ausgleichenden Wirkung der zwischen den Messstationen liegenden Staugebiete stimmen Maxima und Minima der Wasserführung an den beiden Orten jedoch zeitlich nicht überein.

Wie Tab.1 entnommen werden kann, war die Abflussmenge in Zürich während der Beobachtungsperiode sehr unterschiedlich. Das Jahr 1975 war in den ersten neun Monaten wasserreich; im letzten Viertel gab es nur wenig Niederschläge. Im Gegensatz dazu, brachte die Limmat 1976 nur wenig Wasser. 1977 war durch viele Wechsel in der Wasserführung gekennzeichnet. 1978 hatte bis zum August wie 1975 grosse Abflussmengen. Von den total ausgewerteten 46 Monaten steht der Juli 1975 mit durchschnittlich 213 $m^3/s$ einsam an der Spitze. Im Gegensatz dazu wurden im März 1976 nur gerade 39,4 $m^3/s$ registriert.

Abb.7 zeigt die Tagesmittel der Abflussmenge in Zürich-Unter-

Tabelle 1: Mittlere monatliche und jährliche Abflussmenge der Limmat in Zürich-Unterhard [$m^3/s$], 1975-1978 und 1938-1977 (langjähriges Mittel).

| | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1938-77 |
|---|---|---|---|---|---|
| Januar | 89,7 | 50,9 | 59,7 | 66,6 | 64,8 |
| Februar | 78,7 | 52,2 | 113 | 93,8 | 70,4 |
| März | 61,4 | 39,4 | 84,5 | 113 | 74,2 |
| April | 101 | 51,4 | 129 | 93,9 | 94,0 |
| Mai | 141 | 81,7 | 147 | 132 | 125 |
| Juni | 173 | 105 | 125 | 175 | 148 |
| Juli | 213 | 109 | 118 | 156 | 144 |
| August | 163 | 85,2 | 149 | 137 | 120 |
| September | 122 | 92,8 | 78,1 | 83,4 | 93,4 |
| Oktober | 62,7 | 61,4 | 47,0 | 83,7 | 72,3 |
| November | 68,3 | 54,3 | 76,6 | | 74,2 |
| Dezember | 51,3 | 67,8 | 77,1 | | 70,2 |
| Jahr | 111 | 70,9 | 100 | | 96,0 |

hard für die Untersuchungszeit. In jedem Jahr gab es längere Hoch- respektive Niederwasserperioden zu verzeichnen. Die Extremwerte der Tagesmittel wurden am 8.August 1978 mit 366 $m^3/s$, beziehungsweise am 17.März 1976 mit 32,8 $m^3/s$ notiert. Interessant ist, dass in jedem Jahr mindestens ein ausserordentliches Hochwasser mit über 300 $m^3/s$ im Tagesmittel vorkam.

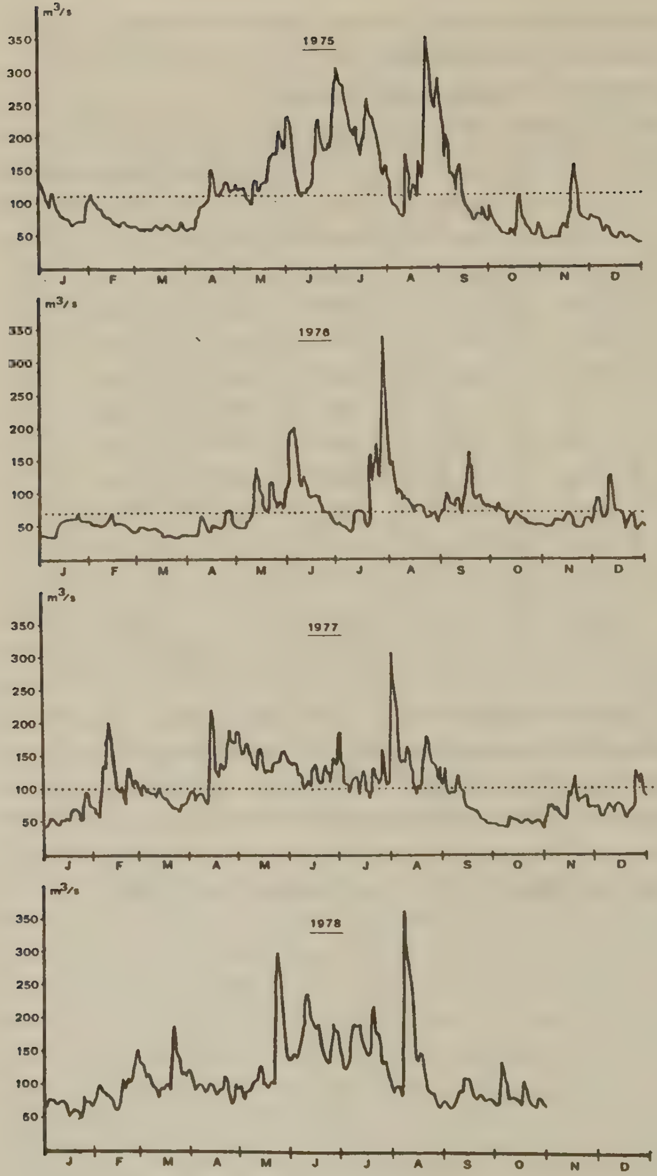


Abbildung 7: Tagesmittel der Abflussmenge der Limmat, Messstelle Zürich-Unterhard, von 1975-1978.

## 6. WETTERVERHAELTNISSE IN ZUERICH 1975-1978

Vergleicht man die Wetterverhältnisse der Untersuchungsjahre (Tab.2, erstellt nach Angaben der MZA), so ergibt sich das gleiche Bild wie bei der Wasserführung. Die Niederschlagssumme war im Jahre 1975 am höchsten; nur knapp darunter blieben die Jahre 1977 und 1978, während 1976 sehr viel weniger Regen verzeichnet wurde. Am meisten Regentage gab es 1977, etwas kleiner war die Zahl 1975 und 1978. Ausser 1976 blieb die Zahl der Sonnenstunden immer klar unter dem Durchschnittswert. Zur Temperatur lässt sich festhalten, dass generell die Winter unserer Untersuchungsjahre eher zu warm und die Sommer zu kalt waren; die Temperaturen sind ausgeglichener als in langjährigen Perioden, so dass die Tagesmaximalwerte zu tief und die Tagesminimalwerte zu hoch sind.

Tabelle 2: Wetterverhältnisse in Zürich, 1975-1978 (Angaben gemäss Wetterberichten der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich; Normalwerte berechnet auf Grund langjähriger Klimabeobachtungen).

| | | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 |
|---|---|---|---|---|---|
| Lufttemperatur [°C] | Jahresmittel | 8,9 | 8,9 | 9,1 | 8,0 |
| | Diff.zu Normalwert | +0,7 | +0,7 | +0,9 | -0,2 |
| | mittleres Tagesmax. | 12,8 | 13,1 | 13,1 | 11,7 |
| | Diff.zu Normalwert | -1,1 | -0,9 | -0,9 | -2,1 |
| | mittleres Tagesmin. | 5,8 | 5,5 | 6,1 | 5,0 |
| | Diff.zu Normalwert | +0,8 | +0,5 | +1,1 | +0,1 |
| Sonnenschein | Summe pro Jahr [Std] | 1478 | 1721 | 1319 | 1314 |
| | % Normalwert | 87 | 102 | 78 | 81 |
| Niederschläge | Summe pro Jahr [mm] | 1216 | 963 | 1171 | 1206 |
| | % Normalwert | 108 | 85 | 104 | 111 |
| | Tage mit Niederschl. | 177 | 159 | 212 | 175 |

## 7. STROEMUNGSVERHAELTNISSE UND FLIESSGESCHWINDIGKEIT DER LIMMAT

Bei den Strömungsverhältnissen der Limmat interessiert besonders, wie das aus der ARA Werdhölzli stammende Abwasser im Fluss eingemischt wird. Die bestehenden drei Ausflusskanäle liegen in der linken Hälfte der Limmat bis etwa zur Mitte. Im Zusammenhang mit der Erweiterung der Kläranlage wurden im Februar 1978 vom Tiefbauamt der Stadt Zürich in der Limmat Färbversuche mit einem Farbstoff (Fluorescin) durchgeführt. Dabei wurde auch das heutige System geprüft. Wie erwartet, wird die linke Flusseite stärker belastet als die rechte und zwar bis etwa zur Engstringerbrücke. Unterhalb dieser Brücke war der Farbstoff über die ganze Flussbreite verteilt. Das Resultat des Färbversuchs entspricht dem optischen Eindruck, wonach bei der Engstringerbrücke die rechte Flusseite (Probenahmestelle Er) sich in einem besseren Zustand befindet als die linke (El). Nach meinen Beobachtungen bleibt bei höherem Wasserstand das Abwasser extremer auf der linken Seite, als bei der während der Färbversuche herrschenden Abflussmenge von etwas über 60 $m^3$/s. Zwischen der Einleitungsstelle der Abwässer und der Industriebrücke Schlieren-Dietikon (Probenahmestellen Il und Ir) ermittelte das Tiefbauamt der Stadt Zürich Fliessgeschwindigkeiten von etwa 1 m/s bis etwa 1,5 m/s (Hauptströmung).
Eigene Strömungsmessungen mit einem Messgerät der Firma Ott ergaben bei einer Abflussmenge von 79 $m^3$/s für die biologischen Probenahmestellen Geschwindigkeiten zwischen 0,10 m/s und 0,65 m/s; bei einer Abflussmenge von 110 $m^3$/s schwankten die Resultate zwischen 0,28 m/s und 1,05 m/s. Die im Vergleich zum Färbversuch niedrigeren Werte sind verständlich, weil meine Messungen in der Uferzone und nicht in der Hauptströmung des Flusses durchgeführt wurden.

# 8. CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNG DER LIMMAT

## 8.1. Allgemeines

Jede chemische Wasseruntersuchung erfasst im Unterschied zur biologischen Untersuchung nur einen momentanen Zustand. Daher ist es klar, dass eine Analyse pro Monat nicht genügt, um den Chemismus eines Gewässers vollständig aufzuklären. Bei einem Fliessgewässer stellt sich zudem noch das Problem der starken Schwankung der Wasserführung und der Verdünnung. Gibt es am Vortag der Probenahme ein Gewitter oder einen Platzregen, so ändert sich die Sauberkeit des Wassers und damit auch der Gehalt an Nährstoffen sprunghaft. Weil die Probenahmen für die vorliegende Untersuchung immer gleichentags an allen Stellen erfolgte, können aber doch Mittelwerte für jeden Ort berechnet und so die Resultate miteinander verglichen werden. Bei der Auswertung des chemischen Zustandes der Limmat musste beachtet werden, dass die Stellen zu Teil während der Untersuchungszeit wechselten (vergleiche Kapitel 4.7.). Weiter werden seit dem 1.November 1975 in der ARA Werdhölzli die Phosphate teilweise gefällt. Tab.3 zeigt, welchen Einfluss dies auf die unterhalb der Kläranlage liegenden Probenahmestellen hat.

Tabelle 3: Mittlerer Phosphorgehalt des Limmatwassers [mg/l] an verschiedenen Probenahmestellen vor und nach Einführung der teilweisen Phosphatfällung in der ARA Werdhölzli ab 1.November 1975.
(Qu=Quaibrücke, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts)

| Probenahmestelle | Qu | | El | | Em | | Er | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $PO_4^{-}P$ | GesP | $PO_4^{-}P$ | GesP | $PO_4^{-}P$ | GesP | $PO_4^{-}P$ | GesP |
| April-Oktober 75 | 0,01 | 0,06 | 0,21 | 0,31 | 0,19 | 0,28 | 0,03 | 0,08 |
| April-Oktober 76 | 0,01 | 0,13 | 0,11 | 0,17 | 0,10 | 0,18 | 0,02 | 0,07 |
| April-Oktober 77 | 0,02 | 0,06 | 0,08 | 0,14 | 0,08 | 0,12 | 0,03 | 0,07 |
| April-Oktober 78 | 0,03 | 0,06 | 0,08 | 0,14 | 0,07 | 0,12 | 0,03 | 0,07 |

Weil die Einführung der Phosphatfällung in der Kläranlage Werdhölzli an den Probenahmestellen Engstringen links (El) und mitte (Em) zu einer Reduktion des P-Gehaltes auf etwa die Hälfte führte, wurden für die Auswertung nur die chemischen Analysen von November 1975 bis Oktober 1978 berücksichtigt. Es handelt sich dabei um total 35 Untersuchungen (im Dezember 1975 wurden keine Proben erhoben).
Für die meisten Parameter berechnete ich ausser den Mittelwerten auch die Medianwerte. Nach CAMPELL (1971) und SACHS (1974) ist die Gewichtung von Extremresultaten bei Medianwerten geringer als bei Mittelwerten.

## 8.2. Wassertemperatur

Die Temperatur des Limmatwassers wird in Baden permanent aufgezeichnet. Wie bei eigenen Messungen festgestellt wurde, schwankt sie zwischen Zürich und Baden um etwa 0,5 °C (ohne Berücksichtigung der Verhältnisse in den Staugebieten). Daher genügen Angaben aus Baden, um den Temperaturverlauf des Limmatwassers zu charakterisieren.
Tab.4 gibt eine Uebersicht über die Temperaturverhältnisse des Limmatwassers in Baden. In den Grundzügen entsprechen die Resultate den bereits bei der Charakterisierung des Wetterverlaufs erwähnten Tatsachen: die Monate Januar bis März waren bei unseren Untersuchungen zu warm, April und Mai zeigten grosse Unterschiede (zum Beispiel fiel im April 1976 innerhalb von drei Tagen die Wassertemperatur um 4,6 °C), der Juni war zu warm, im Juli schwankte die Temperatur von Jahr zu Jahr sehr stark und die Monate August bis Dezember waren eher ausgeglichen.

Tabelle 4: Mittlere monatliche und jährliche Wassertemperatur der Limmat in Baden [°C], 1975-1978 und 1969-1977 (langjährige Mittel).

| | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1969-77 |
|---|---|---|---|---|---|
| Januar | 5,8 | 5,1 | 4,3 | 5,2 | 4,7 |
| Februar | 5,4 | 4,8 | 5,1 | 4,5 | 4,7 |
| März | 6,1 | 6,0 | 6,5 | 5,5 | 5,7 |
| April | 7,2 | 8,7 | 7,0 | 7,8 | 7,4 |
| Mai | 12,3 | 13,9 | 10,8 | 11,7 | 11,7 |
| Juni | 15,0 | 18,0 | 16,5 | 16,3 | 15,8 |
| Juli | 17,8 | 22,3 | 19,6 | 16,9 | 18,8 |
| August | 20,2 | 19,2 | 18,9 | 18,6 | 19,9 |
| September | 17,8 | 16,8 | 16,8 | 16,9 | 17,4 |
| Oktober | 13,9 | 14,6 | 13,7 | | 13,5 |
| November | 9,7 | 9,9 | 10,1 | | 9,4 |
| Dezember | 6,4 | 5,8 | 6,7 | | 6,1 |
| Jahr | 11,5 | 12,1 | 11,4 | | 11,3 |

## 8.3. pH-Wert

Die Wasserstoffionenkonzentration hängt unter anderem von der Assimilationstätigkeit der Wasserorganismen ab. Weil die Photosynthese nicht immer gleich intensiv ist, ändert sich der pH-Wert im Laufe eines Tages und im Verlaufe des Jahres stark. Im Winter liegt bei geringer Photosynthese der Wert normalerweise tiefer und die Tagesschwankungen sind kleiner als im Sommer. Während der Untersuchungszeit lagen die Werte der Messstation Baden vom November bis im Februar um 7,6 herum, wobei die täglichen Ausschläge etwa ± 0,1-0,2 Einheiten erreichten. Je nach den allgemeinen Wetterverhältnissen eines Jahres stiegen die Werte im Frühling und Sommer bis auf Tagesmittel von 7,8 bis 8,3 mit Schwankungen von ± 0,3-0,4 Einheiten an. Ebenfalls der Witterung entsprechend nahm die Wasserstoffionenkonzentration im September/Oktober mehr oder weniger schnell wieder auf die

Winterwerte ab. Aus unbekannten Gründen lagen die vom Kantonalen Laboratorium ermittelten pH-Werte (Tab.5) etwa 0,2 Einheiten höher als diejenigen der permanenten Untersuchungen in Baden. Wie erwartet, mass man an allen Probenahmestellen die Maximalwerte im Sommer.

Tabelle 5: pH-Werte des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978.
(Qu=Quaibrücke, Hm=Hardturm mitte, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon)

| Stelle | Qu | Hm | Hr | El | Em | Er | Di |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittelwert | 8,05 | 8,1 | 8,1 | 7,9 | 7,9 | 8,05 | 7,95 |
| Medianwert | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 7,8 | 7,8 | 8,0 | 8,0 |
| Minimum | 7,5 | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 7,6 | 7,65 | 7,4 |
| Maximum | 8,6 | 8,6 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,8 | 8,3 |

## 8.4. Elektrische Leitfähigkeit, Karbonathärte

Die Leitfähigkeit eines Wassers orientiert über den Ionengehalt. Den Hauptanteil an dissoziierten Stoffen bilden in unseren Gewässern die Karbonate. Gemäss RUTTNER (1962) kann die Karbonathärte direkt in die Leitfähigkeit umgerechnet werden (1 mval/l =85 µS/cm, 2 mval/l=166 µS/cm, 3 mval/l=244 µS/cm). Tab.6 enthält die während der Untersuchungszeit gemessenen Werte der Leitfähigkeit, der Karbonathärte und die Differenzen zwischen dem von der Karbonathärte gebildeten Anteil und der gesamten Leitfähigkeit.

Die Differenzen sind an den ersten drei Stellen (oberhalb der ARA Werdhölzli) für Mittel- und Medianwert ungefähr gleich. An den Punkten El und Em erfolgt ein signifikanter Anstieg um etwa die Hälfte; das Resultat für Er entspricht praktisch den Werten oberhalb der Kläranlage. Die Stelle Di liegt ungefähr in der Mitte der beiden Resultatgruppen. Der Anstieg der Differenzen

für El und Em beruht nur zu einem kleinen Teil auf erhöhter Karbonathärte; beim grösseren Teil handelt es sich um zusätzliche Ionen, die aus dem Abwasser der ARA Werdhölzli stammen. Wie wir später sehen werden, nimmt der Chloridgehalt an den gleichen Stellen ebenfalls stark zu, so dass Chlorid einen Teil des Anstiegs ausmachen dürfte.

Tabelle 6: Leitfähigkeit (gemessen), Leitfähigkeit (aus Karbonathärte berechnet) und Differenzen der beiden Leitfähigkeiten [µS/cm] des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978.
(Qu=Quaibrücke, Hm=Hardturm mitte, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon)

| Probenahmestelle | | Qu | Hm | Hr | El | Em | Er | Di |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Leitfähigkeit (gemessen) | Mittelwert | 232 | 233 | 230 | 269 | 266 | 241 | 255 |
| | Medianwert | 242 | 237 | 233 | 273 | 269 | 248 | 257 |
| | Minimum | 193 | 202 | 198 | 234 | 228 | 206 | 225 |
| | Maximum | 260 | 253 | 253 | 303 | 306 | 264 | 280 |
| Leitfähigkeit aus Karbonath. | Mittelwert | 197 | 197 | 197 | 213 | 213 | 205 | 205 |
| | Medianwert | 205 | 205 | 197 | 213 | 213 | 213 | 213 |
| | Minimum | 166 | 166 | 166 | 174 | 174 | 174 | 174 |
| | Maximum | 221 | 221 | 213 | 244 | 236 | 228 | 221 |
| Leitfäh.-Karbonath. | Mittelwert | 35 | 36 | 33 | 56 | 53 | 36 | 50 |
| | Medianwert | 37 | 32 | 36 | 60 | 56 | 35 | 44 |

Nach WETZEL (1975), GOLTERMAN (1975) und SCHWOERBEL (1971) sind ausser Kalziumkarbonat vor allem $Mg^{2+}$, $Na^{+}$, $SO_4^{2-}$ und $Cl^{-}$ als Ionen in den mitteleuropäischen Gewässern vorhanden. Das Verhältnis der Ionen zueinander hängt im wesentlichen von der Herkunft des Wassers (Gestein), von der Bioaktivität und von anthropogenen Einflüssen ab. Die Summe aller Anionen und Kationen ist grösser als die gemessene Leitfähigkeit, das heisst je nach Gewässer muss das ermittelte Leitvermögen mit einem bestimmten

Faktor multipliziert werden, um die effektive Ionensumme zu erhalten.

## 8.5. Gesamthärte, Karbonathärte, bleibende Härte

Das Limmatwasser zeigt in Gesamt- und Karbonathärte keine grossen Unterschiede zwischen den einzelnen Stellen. Die mittlere Gesamthärte schwankt zwischen 2,58 und 2,89 mval/l mit monatlichen Extremwerten von 2,12 und 3,32 mval/l. Die mittlere Karbonathärte variiert gar nur zwischen 2,4 und 2,6 mval/l. Die als Differenz berechnete bleibende Härte beträgt 0,2 bis 0,3 mval/l. Der Härtegrad erlaubt keine Aussage über die Qualität eines Wassers, weil er weitgehend durch die geologische Beschaffenheit der Herkunftsregion des Wassers bedingt ist.

## 8.6. Anorganischer Stickstoff: Ammonium-N, Nitrit-N, Nitrat-N

In Gewässern kommen alle drei Erscheinungsformen des anorganischen Stickstoffs vor: Ammonium-N ($NH_3$-N + $NH_4^+$-N), Nitrit-N ($NO_2^-$-N) und Nitrat-N ($NO_3^-$-N). Durch bakterielle Prozesse können die einzelnen Formen ineinander übergeführt werden. Der wichtigste Prozess ist dabei die Nitrifikation, bei der in zwei Schritten Ammonium-N über Nitrit-N in Nitrat-N umgewandelt wird. Nach KLEE (1975) kann die Nitrifikation praktisch in jedem Milieu erfolgen. Nitrit macht den kleinsten Anteil der anorganischen Stickstoffverbindungen aus, weil gemäss RHEINHEIMER (1971) die Umwandlung Ammoniak → Nitrit der geschwindigkeitsbestimmende Schritt der Nitrifikation ist.
Nitrate spielen neben den Phosphaten für das Wachstum der Pflanzen in Gewässern die wichtigste Rolle. Ausser von toten Organismen kommen die Stickstoffverbindungen aus den Böden, sowie aus dem Harn von Tier und Mensch (22 g Harnstoff pro Tag=10 g N). Aus Waldböden und landwirtschaftlich genutzten Gebieten wird viel Stickstoff ausgeschwemmt. KUNZ (1977) ermittelte für das Einzugsgebiet des Zürichsees Werte zwischen 0,8 und 6,4 t N/$km^2$Jahr, je nach Bevölkerungszahl und landwirtschaftlicher Nut-

zung. Als weitere N-Quellen in Gewässern kommen luftstickstoff-fixierende Bakterien und Blaualgen, sowie der direkte Eintrag von Stickstoff durch Niederschläge in das Gewässer in Frage. Regenwasser kann nach RUTTNER (1962) bis 0,4 mg Nitrat pro Liter enthalten.

Ammonium-N umfasst die zwei Komponenten $NH_3$ und $NH_4^+$; deren mengenmässiges Verhältnis hängt vom pH-Wert und der Wassertemperatur ab. Ammoniak ist für Fische stark giftig. Bei den mittleren pH-Werten der Limmat von etwa 8,0 liegt das Gleichgewicht der Gleichung $NH_4^+ + OH^- \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O$ zu mehr als 95 % auf der linken Seite. Bei den gemessenen Maximalwerten von 8,5 bis 8,8 verschiebt sich das Verhältnis bei einer Temperatur von 20 °C auf bis zu 25 % $NH_3$, was für Fische bereits eine Gefahr darstellen würde. Nach WUHRMANN et al.(1947) hängt die Giftigkeit des Ammoniaks aber auch noch vom Sauerstoffgehalt des Wassers ab. Dieser sinkt für die Limmat nie auf kritische Werte ab, so dass es in diesem Fluss in den letzten drei Jahren nie zu einem Fischsterben kam.

Ein Vergleich der Mittelwerte der Stickstoffkomponenten des Limmatwassers der Jahre 1975-1978 (Tab.7) zeigt, dass oberhalb des Einlaufes der ARA Werdhölzli die Werte mehr oder weniger konstant waren. Unterhalb des Einlaufes veränderte sich der Nitratgehalt nur wenig, während für die am meisten belasteten Stellen El und Em die Menge an Nitrit auf das Zwei- bis Dreifache anstieg. Gleichenorts erreichte der Ammoniumgehalt sogar Werte, die mehr als zwanzigmal so hoch wie oberhalb der Kläranlage waren. Für die Stelle Engstringen rechts (Er) war der Anstieg viel schwächer. Bis Dietikon (Di) sank der Ammoniumgehalt wieder fast auf die Hälfte.

Tabelle 7: Ammonium-N ($NH_3$-N + $NH_4^+$-N), Nitrit-N ($NO_2^-$-N) und Nitrat-N ($NO_3^-$-N) des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978.
(Qu=Quaibrücke, Hm=Hardturm mitte, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon)

| Probenahmest. | | Qu | Hm | Hr | El | Em | Er | Di |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mittelw. | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,88 | 0,90 | 0,12 | 0,48 |
| $NH_4^+$-N | Medianw. | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,82 | 0,87 | 0,11 | 0,49 |
| [mg/l] | Minimum | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,31 | 0,34 | 0,07 | 0,28 |
| | Maximum | 0,08 | 0,05 | 0,07 | 1,92 | 1,98 | 0,33 | 0,70 |
| | Mittelw. | 0,008 | 0,007 | 0,006 | 0,026 | 0,020 | 0,010 | 0,017 |
| $NO_2^-$-N | Medianw. | 0,006 | 0,008 | 0,006 | 0,023 | 0,018 | 0,009 | 0,018 |
| [mg/l] | Minimum | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,009 | 0,005 | 0,002 | 0,001 |
| | Maximum | 0,021 | 0,014 | 0,012 | 0,061 | 0,050 | 0,023 | 0,029 |
| | Mittelw. | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| $NO_3^-$-N | Medianw. | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| [mg/l] | Minimum | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| | Maximum | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 |

Interessant ist der prozentuale Anteil der einzelnen Stickstoffkomponenten am gesamten anorganischen Stickstoff (Tab.8). In der Literatur findet man für leicht belastete Fliessgewässer Angaben von ~9:<1:>90 %, was für die Stellen oberhalb der ARA Werdhölzli annähernd zutrifft. Unterhalb der Kläranlage sinkt der Wert für die höchste Oxidationsstufe (Nitrat) auf weniger als die Hälfte. Bis Dietikon wird die gesamte anorganische Stickstoffmenge pro Liter Wasser erniedrigt, entweder weil das Werdhölzi-Abwasser nun über die ganze Limmat verteilt ist, oder weil N in Biomasse eingebaut wurde. Zudem liegt an dieser Stelle bereits wieder die Hälfte des Stickstoffs in der höchstoxidierten Form vor. Die 3-4 % Abwasser der Kläranlage Werdhölzli in der gesamten Wassermenge der Limmat, führen an der Stelle El zu einem Anstieg des Ammoniumgehaltes auf das Zwanzigfache gegen-

über der Stelle Hr.

Tabelle 8: Prozentualer Anteil der einzelnen Komponenten am gesamten anorganischen Stickstoff des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, Mittelwerte 1975-78. (Qu=Quaibrücke, Hm=Hardturm mitte, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon)

| Probenahmestelle | Qu | Hm | Hr | El | Em | Er | Di |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ammonium-Stickstoff | 6 | 7 | 9 | 58 | 63 | 19 | 48 |
| Nitrit-Stickstoff | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Nitrat-Stickstoff | 93 | 92 | 90 | 40 | 36 | 79 | 50 |

## 8.7. Organischer Stickstoff

Die relativ aufwendige Bestimmung des Gesamtstickstoffs wurde nicht an allen Probenahmestellen durchgeführt; zudem wurde während der Untersuchungszeit die Methode gewechselt. Aus diesen Gründen kann die Auswertung der vorliegenden Resultate nur als relativer Vergleich durchgeführt werden, indem pro Untersuchungstag das Ergebnis der Kjeldahl-N-Analyse der Stelle Quaibrücke (=Seewasser) als Basis genommen wird. Anschliessend wird verglichen, wievielmal grösser die Resultate der Stellen Engstringen mitte und Dietikon sind. Für Em ergab sich bei der bis Januar 1977 angewandten Methode ein mittlerer Faktor von 2,5. Das heisst, an der Stelle Em wurde zweieinhalbmal so viel organisch gebundener Stickstoff gemessen wie an der Stelle Qu. Für Di ermittelte man einen Faktor von 1,8; es kommt in Dietikon also weniger organisch gebundener Stickstoff im Limmatwasser vor als in der Flussmitte bei Engstringen. Für die ab Februar 1977 eingeführte Kjeldahl-N-Methode wurde an der Stelle Em ein Faktor von 4,7 berechnet (es liegen nur 9 Ergebnisse vor).

## 8.8. Anorganischer Phosphor: Phosphat-P und Gesamt-P

Im Zürichsee und damit auch am Anfang des Limmatlaufes ist Phosphat der Minimumstoff, das heisst er wirkt wachstumsbegrenzend (THOMAS 1956/57, 1971, 1975). Der gleiche Autor schreibt weiter, dass in unverschmutzten Flüssen mehr Nitrate als Phosphate vorhanden sind, weil die Humuserde natürliche Phosphate zurückhält, im Gegensatz zu den Nitraten. Auch wenn die Limmat nicht zu den unverschmutzten Flüssen zu rechnen ist, findet man mehr Nitrate als Phosphate. Dies ist dem Zürichsee zu verdanken, der infolge der weitgehenden Abwassersanierung der Seegemeinden wieder zu den sauberen Seen gezählt werden kann. Trotzdem gelangt auch nach Einführung der dritten Reinigungsstufe in den Kläranlagen mit dem gereinigten Abwasser eine ansehnliche Phosphatfracht in den Zürichsee (KUNZ 1977). Pro Einwohner muss mit täglich 3-4 g Phosphor gerechnet werden (SCHWOERBEL 1971, KLEE 1975), von denen gegen 95 % ausgefällt werden können.
Die Mittelwerte und die Medianwerte an Orthophosphat und Gesamtphosphor des Limmatwassers an den verschiedenen Probenahmestellen sind in Tab.9 zu sehen. Die Schwankungen von Monat zu Monat sind enorm; zum Teil war das Maximum bis vierzehnmal so gross wie das Minimum derselben Stelle. Die Medianwerte liegen unter den Durchschnittswerten. Auch bei den Phosphaten lagen die Werte unterhalb des Werdhölzli-Einlaufes an den Stellen El und Em mehr als doppelt so hoch wie oberhalb. Bis Dietikon sank der Phosphatgehalt wieder . Wie bereits erwähnt ist dies der vollständigen Durchmischung des Limmatwassers und eventuell dem Abbau der Nährstoffe im Staugebiet zuzuschreiben.
Markant war der hohe Anteil des Orthophosphats am Gesamtphosphor an den Stellen El, Em und teilweise auch Di. Nach KLEE (1975) werden in Kläranlagen alle Phosphate (auch die kondensierten Tripolyphosphate und Pyrophosphate der Waschmittel) zu $PO_4^{3-}$ hydrolisiert. Daher ist es verständlich, dass die Einleitung gereinigter Abwässer (auch mit 3.Stufe) zu einem spürbaren Anstieg des Orthophosphat-Anteils des Gesamtphosphors führt. Vor Einführung der 3.Stufe in der ARA Werdhölzli, betrug dieser Anteil an der Stelle Engstringen links sogar über 80 %.

Tabelle 9: Orthophosphat ($PO_4^{3-}$-P), Gesamtphosphor und prozentualer Anteil des $PO_4^{3-}$-P am Gesamt-P des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978. (Qu=Quaibrücke, Hm=Hardturm mitte, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon)

| Probenahmest. | | Qu | Hm | Hr | El | Em | Er | Di |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mittelw. | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,11 | 0,10 | 0,04 | 0,07 |
| $PO_4^{3-}$-P | Medianw. | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,10 | 0,09 | 0,03 | 0,06 |
| [mg/l] | Minimum | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |
| | Maximum | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 0,28 | 0,26 | 0,12 | 0,16 |
| | Mittelw. | 0,08 | 0,09 | 0,07 | 0,17 | 0,17 | 0,09 | 0,13 |
| Ges.-P | Medianw. | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,15 | 0,15 | 0,08 | 0,10 |
| [mg/l] | Minimum | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,06 |
| | Maximum | 0,15 | 0,15 | 0,12 | 0,35 | 0,40 | 0,21 | 0,27 |
| %-Ant. | Mittelw. | 33 | 44 | 43 | 65 | 59 | 44 | 54 |
| $PO_4^{3-}$-P | Medianw. | 33 | 43 | 29 | 67 | 60 | 38 | 60 |

## 8.9. $BSB_5$ und $KMnO_4$-Verbrauch

Nach LIEBMANN (1962) ist der Biochemische Sauerstoffbedarf der Massstab für die Menge an abbaubaren organischen Substanzen eines Wassers. Die Oxidierbarkeit ($KMnO_4$-Verbrauch) weist auf die Menge der vorhandenen chemisch oxidierbaren Substanzen hin. Steigen die beiden Werte parallel an, so deuten sie auf eine vorhandene Verschmutzung hin. THOMAS (1948) zeigte, dass beim $KMnO_4$-Verbrauch auch Stoffe erfasst werden, welche in der Natur nur schwer oxidiert werden; die Resultate der beiden Untersuchungen müssen daher nicht unbedingt parallel verlaufen. RUTTNER (1962) wies darauf hin, dass die Oxidierbarkeit auch vom Oxidationszustand der gelösten Stoffe abhängt.

Aus Tab.10 ersehen wir, dass die Werte des $BSB_5$ und des $KMnO_4$-Verbrauches bei El und Em am höchsten sind, dass sie in Er mehr oder weniger den Resultaten der oberhalb der ARA liegenden Stellen entsprechen und dass sie in Dietikon wieder etwas niedriger sind. Interessant ist, dass die Werte der verschmutzten Stellen sich beim $BSB_5$ gut verdoppeln, während sie beim $KMnO_4$-Verbrauch nicht einmal um die Hälfte ansteigen. Dies entspricht der vorhin erwähnten Tatsache, dass die zwei Werte nicht genau parallel verlaufen. Das veränderte Verhältnis der Resultate erlaubt auch nicht, mittels einer in der Literatur hie und da gefundenen Formel die zwei Parameter gegenseitig umzurechnen oder daraus den C-Gehalt des Wassers abzuleiten.

Tabelle 10: $BSB_5$ und $KMnO_4$-Verbrauch des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978. (Qu=Quaibrücke, Hm=Hardturm mitte, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon)

| Probenahmest. | | Qu | Hm | Hr | El | Em | Er | Di |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mittelw. | 1,6 | 2,1 | 1,7 | 4,3 | 4,1 | 1,8 | 2,8 |
| $BSB_5$ | Medianw. | 1,6 | 1,8 | 1,6 | 4,1 | 3,6 | 1,6 | 2,5 |
| [mg/l] | Minimum | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 1,9 | 2,0 | 0,9 | 1,7 |
| | Maximum | 3,2 | 5,6 | 3,1 | 8,9 | 8,4 | 4,1 | 4,6 |
| | Mittelw. | 6,2 | 6,9 | 6,2 | 10,2 | 10,2 | 7,6 | 6,8 |
| $KMnO_4$ | Medianw. | 6,9 | 6,9 | 6,6 | 9,5 | 9,5 | 7,4 | 7,2 |
| [mg/l] | Minimum | 1,6 | 2,9 | 2,5 | 5,7 | 5,6 | 2,6 | 3,6 |
| | Maximum | 9,4 | 10,3 | 9,0 | 23,4 | 26,1 | 17,6 | 8,8 |

## 8.10. Sauerstoff und Sauerstoffsättigung

Der Sauerstoffgehalt eines Fliessgewässers schwankt auch unter natürlichen Bedingungen stark. Er wird beeinflusst von der Jahreszeit (Lichteinfall für Assimilationstätigkeit, Abhängigkeit

der $O_2$-Sättigungsgrenze von der Wassertemperatur), Vegetation und Turbulenz des Gewässers. Anthropogene Verschmutzung führt primär zu einem Sauerstoffrückgang, weil die Oxidation organischer Stoffe Sauerstoff braucht. Nach DEMMERLE (1966) spielen für Abflüsse von Seen auch deren Verhältnisse eine grosse Rolle, da der Zustand des Flusswassers am Anfang ganz von der Beschaffenheit des Seewassers abhängt.

Für den Sauerstoffgehalt und die Sauerstoffsättigung des Limmatwassers liegen für 1975 und 1976 Resultate der permanenten Messstelle in Baden vor. Dabei ist ersichtlich, dass der $O_2$-Gehalt im Tagesmittel etwa von Dezember bis Mai/Juni zwischen 9 und 10 mg/l lag, im Juli/August wurden minimale Werte (5-6 mg/l) gemessen, im September bis November schwankten die Zahlen um 7 bis 8 mg/l. Der $O_2$-Gehalt wies tägliche Schwankungen bis ±2 mg/l auf. Das Tagesmittel der Sauerstoffsättigung erreichte in Baden nur selten 100 %, meist lag es zwischen 80 und 90 % oder noch tiefer. Die täglichen Schwankungen betrugen bis ±20 %.

Tab.11 zeigt die Sauerstoffverhältnisse des Limmatwassers für die einzelnen Probenahmestellen. Wie erwähnt schwankt der $O_2$-Gehalt bereits im Laufe eines Tages beträchtlich. Es lässt sich daher aus monatlichen Untersuchungen höchstens ein Trend ableiten. Immerhin wurden alle Proben einer Serie jeweils kurz hintereinander und in der gleichen Reihenfolge entnommen, so dass sich die einzelnen Stellen miteinander vergleichen lassen. Weil bei der Probenahme für die chemischen Bestimmungen keine Temperaturmessungen vorgenommen wurden, berechnete ich die $O_2$-Sättigung für die einzelnen Probenahmetage auf Grund der an der Messstelle Baden registrierten Temperatur. Auffällig ist, dass zwischen Mittelwerten und Medianwerten praktisch keine Differenzen bestehen, was auf eine mehr oder weniger homogene Verteilung der Ergebnisse hindeutet.

Bei der Interpretation der Werte erkennt man, dass der $O_2$-Gehalt des Limmatwassers von der Quaibrücke bis zum Hardturm leicht zunahm und dass der Gehalt unterhalb des Einlaufes der ARA Werdhölzli nur unwesentlich geringer war als oberhalb.

Eigene periodische Sauerstoffmessungen an den biologischen Probenahmestellen zeigten ähnliche Resultate: zwischen den Stellen

Hr und El betrug die Differenz meist etwa 1 mg/l, wobei als schlechteste Werte bei El ungefähr 8 mg/l gemessen wurden.

Tabelle 11: $O_2$-Gehalt und $O_2$-Sättigung des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978. (Qu=Quaibrücke, Hm=Hardturm mitte, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon)

| Probenahmest. | | Qu | Hm | Hr | El | Em | Er | Di |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $O_2$-Gehalt [mg/l] | Mittelw. | 10,6 | 10,8 | 11,2 | 10,3 | 10,3 | 10,9 | 10,5 |
| | Medianw. | 10,3 | 10,7 | 11,0 | 10,3 | 10,5 | 10,6 | 10,4 |
| | Minimum | 8,4 | 8,9 | 9,3 | 8,0 | 8,2 | 8,6 | 8,5 |
| | Maximum | 14,9 | 15,1 | 15,0 | 13,0 | 12,9 | 14,6 | 13,4 |
| $O_2$-sättigung [%] | Mittelw. | 102 | 103 | 106 | 98 | 98 | 104 | 100 |
| | Medianw. | 97 | 102 | 106 | 97 | 97 | 102 | 101 |
| | Minimum | 70 | 74 | 82 | 79 | 80 | 87 | 80 |
| | Maximum | 140 | 134 | 133 | 116 | 114 | 129 | 119 |

## 8.11. Chloride

Ein Anstieg des $Cl^-$-Gehaltes entlang eines Gewässers weist im Normalfall auf eine Belastung mit Abwasser hin, weil die Chloride auch nach Durchlaufen einer dreistufigen Kläranlage noch grösstenteils im Abwasser enthalten sind. Zusätzliche Chloridmengen stammen aus menschlichen Ausscheidungen (6-10 g pro Mensch und Tag, KLEE 1973), aus Industrieabwässern und in der kalten Jahreszeit aus dem Streusalz. Gemäss Angaben der EAWAG gibt der Chloridgehalt der schweizerischen Flüsse vorläufig zu keinen Bedenken Anlass. Vergleichsweise führt der Rhein bei Mainz durchschnittlich 150 mg $Cl^-$ pro Liter Wasser (BASF 1977), was der zwanzigfachen Konzentration des Limmatwassers bei Engstringen entspricht.

Tab.12 zeigt die $Cl^-$-Verhältnisse des Limmatwassers. Man erkennt wie unterhalb der ARA Werdhölzli der Gehalt auf mehr als das

Doppelte ansteigt. Bis Dietikon findet nur eine unwesentliche Abnahme statt. Die Maximalwerte wurden im Winter registriert; sie dürften durch abgeschwemmtes Streusalz bedingt sein.

Tabelle 12: Chloridgehalt des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978. (Qu=Quaibrücke, Hm=Hardturm mitte, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon)

| Probenahmest. | | Qu | Hm | Hr | El | Em | Er | Di |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittelw. | | 3,1 | 3,4 | 3,1 | 7,4 | 7,1 | 3,5 | 6,7 |
| Medianw. | [mg/l] | 3,0 | 3,3 | 3,2 | 7,3 | 6,8 | 3,3 | 6,4 |
| Minimum | | 1,5 | 2,6 | 2,2 | 3,2 | 3,0 | 1,9 | 4,0 |
| Maximum | | 4,8 | 4,9 | 3,2 | 7,3 | 6,8 | 3,3 | 6,4 |

## 8.12. Schwermetalle

Im Jahre 1976 untersuchte das Kantonale Laboratorium Zürich mehrmals das Limmatwasser auf den Gehalt an Schwermetallen. Dabei zeigte sich, dass die Werte Cadmium (Cd < 0,004 mg/l), Chrom (Cr < 0,004 mg/l), Nickel (Ni < 0,04 mg/l), Blei (Pb < 0,02 mg/l) und Quecksilber (Hg < 0,1 µg/l) sehr niedrig waren. Eisen (0,02-0,17 mg/l), Kupfer (0,004-0,008 mg/l) und Zink (0,006-0,030 mg/l) konnten zeitweise in etwas grösserer Konzentration nachgewiesen werden. Alle Werte erreichten nur einen Bruchteil der bei FELLENBERG (1977) und bei BASF (1977) für den Rhein auf Schweizer Gebiet angegebenen Mengen.

## 8.13. 24-Stunden-Untersuchung

Im September 1975 (also vor Einführung der Phosphatfällung in der ARA Werdhölzli) wurde vom Kantonalen Laboratorium eine eintägige Daueruntersuchung des Limmatwassers durchgeführt. Erfasst wurden die Probenahmestellen Hardturm mitte, Engstringen links

und Engstringen rechts. Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt bestimmte man stündlich; für Ammonium-N, Phosphat-P, $BSB_5$, $KMnO_4$-Verbrauch und Chlorid stellte man einstündige Mischproben her. Die Abflussmenge lag an diesem Datum mit 92,6 $m^3/s$ als Tagesmittel knapp unter dem langjährigen Mittelwert; die Resultate dürfen aus dieser Sicht als repräsentativ betrachtet werden. Das Wetter war schön.
Abb.8 zeigt, wie gross die Schwankungen eines einzelnen Parameters pro Tag sind. Man sieht auch, wie wichtig es bei der Probenahme ist, den zeitlichen Abstand zwischen den einzelnen Stellen gleich zu halten, und jedesmal zur gleichen Zeit zu beginnen. Besonders augenfällig ist dies für die Stelle Engstringen links (El), wo zum Beispiel der Ammonium-N der einstündigen Mischprobe innerhalb von vier Stunden auf das Vierfache stieg. Eindrücklich ist in El der mittägliche Anstieg von Chorid-Gehalt, $KMnO_4$-Verbrauch, $BSB_5$, Phosphat-P und Ammonium-N. Er rührt davon her, dass am Morgen der Abwasseranfall massiv ansteigt und daher nach der Verweilzeit des Abwassers in der Kläranlage auch die Vorfluterbelastung entsprechend steigt. SCHWOERBEL (1971) setzt die Abwasserspitze auf dreizehn Uhr an, was etwa der hier gemachten Beobachtung entspricht. Die Schwankungen der Wassertemperatur waren sehr gering; diejenigen des Sauerstoffgehaltes wurden bereits früher besprochen.

### 8.14. Der Chemismus des Limmatwassers im Vergleich mit der eidgenössischen Verordnung über Abwassereinleitungen vom 8. Dezember 1975 (Stand 1.April 1977)

Vergleicht man den Chemismus des Limmatwassers mit den in der VERORDNUNG (1977) über Abwassereinleitungen genannten Forderungen, so erkennt man betreffend die Abwassereinleitung der ARA Werdhölzli folgende Wirkungen:

- Temperatur: kein Einfluss,
- Durchsichtigkeit: es zeigen sich bei El und Em zeitweise Trübungen,
- Farbe: kein Einfluss,

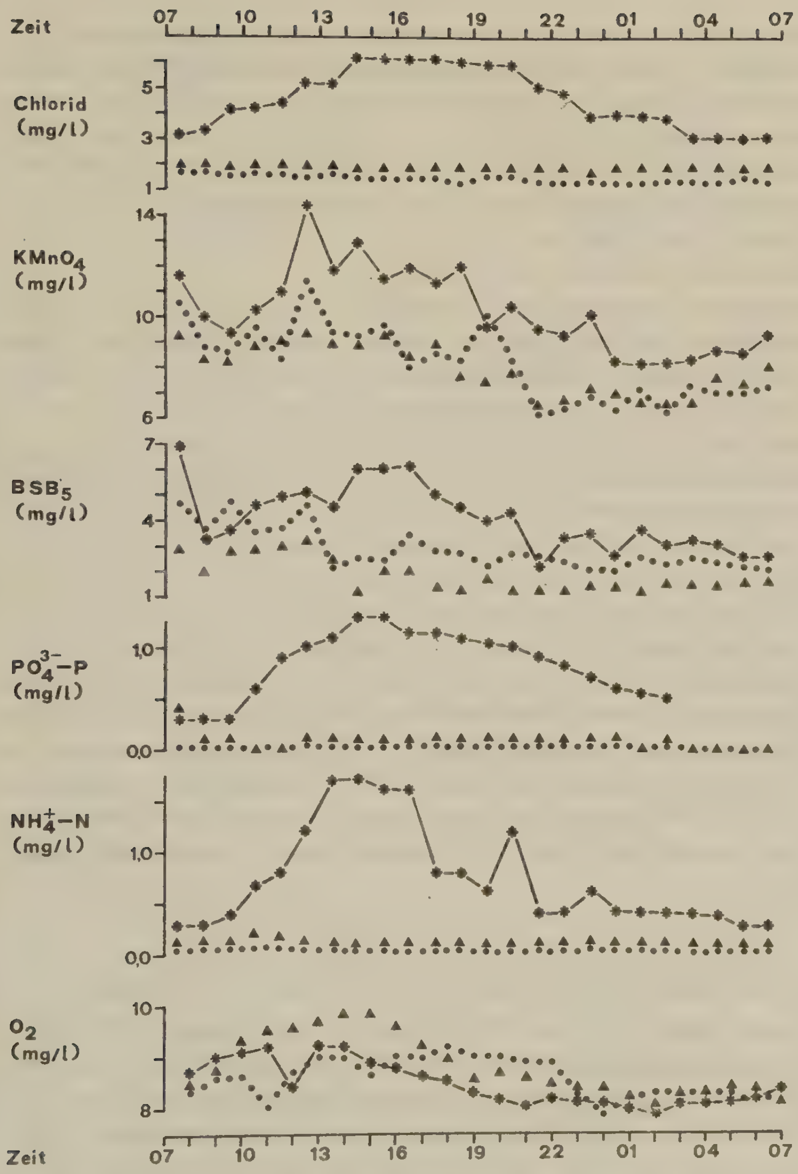


Abbildung 8: Resultate einiger Parameter der chemischen 24-Stunden-Untersuchung des Limmatwassers, September 1975. Probenahmestellen: Hm=Hardturm mitte (•••••), El=Engstringen links (✱—✱), Er=Engstringen rechts (▲ ▲ ▲)

- Geruch und Geschmack: zeitweise bei El und Em verändert,
- Toxizität: nicht geprüft, wahrscheinlich kein Einfluss,
- Salzgehalt: Anstieg bei El/Em (bezogen auf Leitfähigkeit und Chloridgehalt),
- Gesamte ungelöste Stoffe und absetzbare Stoffe: bei El und Em meist Schlamm abgesetzt,
- pH-Wert: kein Einfluss,
- Sauerstoff: Qualitätsziel erfüllt,
- Oberflächenspannung: nicht geprüft,
- Schwermetalle: die Werte der untersuchten Elemente liegen unter den zulässigen Höchstwerten,
- Aktivchlor, Aktivbrom, Chlordioxid, Cyanide, Fluoride: nicht geprüft,
- Ammoniak/Ammonium-N: Qualitätsziel bei El/Em nicht erfüllt, bei Di knapp erfüllt,
- Nitrate und Nitrite: Qualitätsziel erfüllt,
- Phosphor: Qualitätsziel erfüllt,
- Sulfate, Sulfide, Sulfite: nicht geprüft,
- Alle Kohlenstoff-Parameter: nicht geprüft,
- $KMnO_4$-Verbrauch und $BSB_5$: für $BSB_5$ bei El und Em nicht erfüllt,
- Organische Stoffe: nicht geprüft.

Das Limmatwasser entsprach also von 1975-1978 in Engstringen von der linken Flusseite bis zur Flussmitte in chemischer Hinsicht nicht in allen Punkten den gesetzlichen Anforderungen. Nach dem Ausbau der ARA Werdhölzli ist das Erreichen dieser Qualitätsziele zu erwarten.

## 8.15. Heutiges Gütebild der Limmat in chemischer Hinsicht

Für die Aufstellung eines Gütebildes des Limmatwassers in chemischer Beziehung können hier 10 Parameter berücksichtigt werden: Differenz Leitfähigkeit-Karbonathärte, Ammonium-N, Nitrit-N, Nitrat-N, Orthophosphat-P, Gesamt-P, $BSB_5$, $KMnO_4$-Verbrauch, $O_2$, Chlorid. Abb.9 zeigt, dass sich die Medianwerte von 8 Komponenten ähnlich verhalten (Nitrat-N und $O_2$ wurden wegen der geringen Unterschiede nicht aufgezeichnet): für die Stellen Quaibrücke

(Qu), Hardturm mitte (Hm) und rechts (Hr) sind die Ergebnisse je etwa gleich; maximale, das heisst ungünstigste Werte finden sich bei Engstringen links (El) und mitte (Em). Bei der Stelle Engstringen rechts (Er) sind die Befunde deutlich besser als links (El) und in der Flussmitte und schlechter als bei Qu, Hm und Hr; bei der Stelle Dietikon (Di) ist das Wasser von mittlerer Qualität, das heisst besser als in El/Em und schlechter als bei Er.

Stellt man für 9 Parameter (ohne $O_2$) eine Rangliste der Probenahmestellen auf, so ergibt sich sowohl bei den Median-, als auch bei den Mittelwerten folgende Reihenfolge: Hr, Qu, Hm, Er, Di, Em, El. Diese Wertung entspricht den Erwartungen: das bereits ziemlich saubere Seewasser der Stelle Quaibrücke unterliegt bis zum Hardturm noch einer zusätzlichen Selbstreinigung. Hardturm mitte ist etwas stärker belastet, weil sich das Wasser der Sihl hier auf der linken Seite bis etwa zur Flussmitte einmischt. Die Sihl bringt nach starken Regenfällen durch Ausschwemmung lehmiger Bestandteile braun gefärbtes Wasser, das stärker verschmutzt ist (WAELTI 1975). Die Stellen Engstringen links und mitte werden, wie bereits bei den Strömungsverhältnissen erklärt, vom Abwasser der ARA Werdhölzli am stärksten betroffen. Hier sind auch häufig Trübungen durch Geschwemmsel aus der Kläranlage zu beobachten. Die rechte Flusseite bei der Engstringerbrücke (Er) leidet dagegen viel weniger unter dem Einlauf der ARA; bezüglich der Rangpunkte bei der Aufstellung des Gütebildes bleibt Er nur relativ wenig hinter Hm zurück. Bis Dietikon (Di) ist das Abwasser über die ganze Flussbreite verteilt. Zudem erfolgt eine Beeinflussung durch den Stau des Dietiker Wehres.

Beim Sauerstoff lautet die Reihenfolge für die Medianwerte Hr, Hm, Er, Em, Di, Qu und El. Der schlechte Rang der Stelle Qu rührt davon her, dass in einem See andere Sauerstoffverhältnisse herrschen als in einem Fluss.

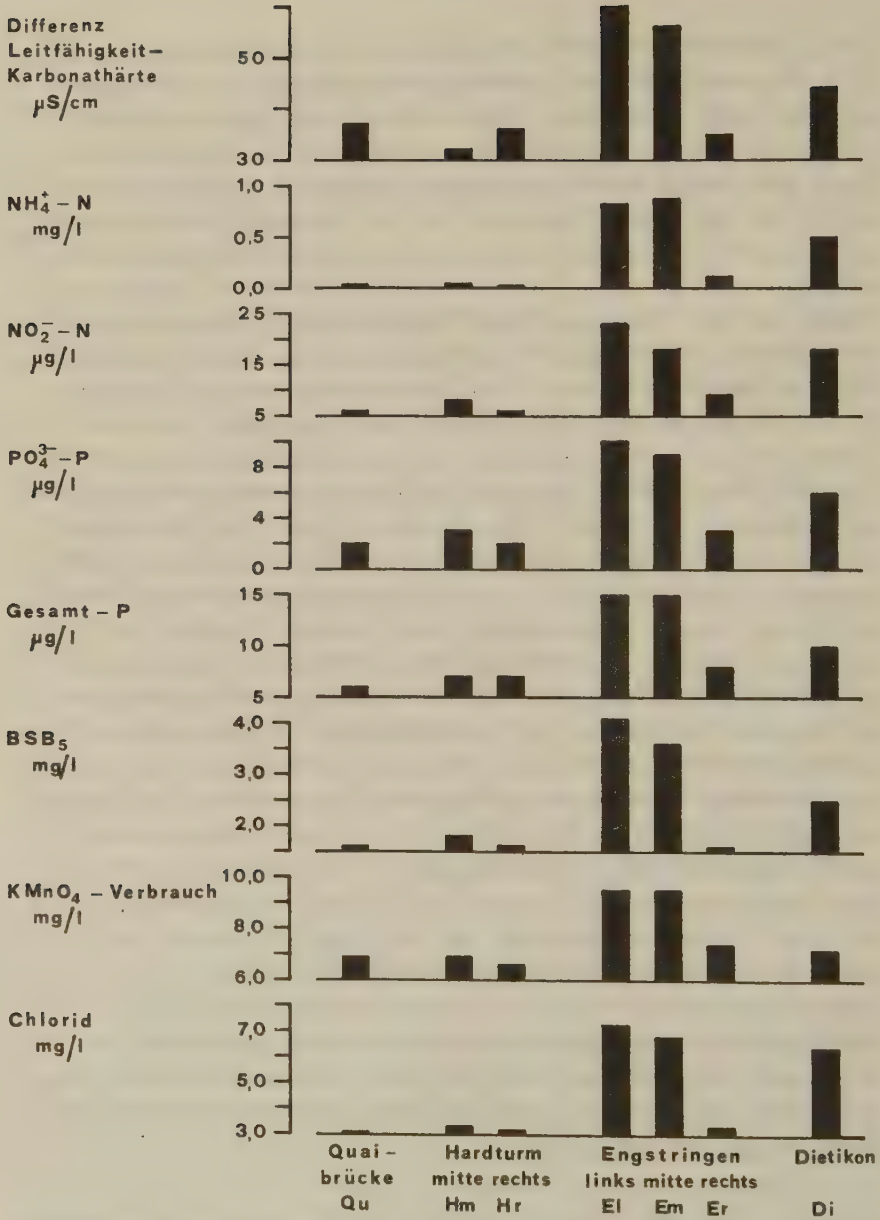


Abbildung 9: Medianwerte von 8 chemischen Parametern des Limmatwassers an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978.

## 8.16. Zunahme der Stofffracht der Limmat unterhalb der ARA Werdhölzli

Geht man davon aus, dass an der Probenahmestelle Dietikon (Di) die chemische Zusammensetzung des Limmatwassers homogen ist, so lässt sich die Zunahme der Stofffracht gegenüber dem Seeabfluss (Quaibrücke) berechnen. Dazu wurde der Mittelwert der Abflussmengen aller berücksichtigten Probenahmetage ermittelt. Er beträgt für die Messstation Zürich-Unterhard 90 $m^3/s$; davon müssen als Zufluss der Sihl noch 6 $m^3/s$ subtrahiert werden. Ferner wird der Abfluss durch den Schanzengraben nicht berücksichtigt; man darf annehmen, die Wasserqualität im Schanzengraben sei gleich wie in der Limmat, so dass die Fracht des Schanzengrabens beim Seeabfluss inbegriffen ist. Für die Stelle Qu nimmt man daher 84 $m^3/s$ als Abflussmenge. In Dietikon kommen zu den 90 $m^3/s$ der Station Unterhard noch etwa 3 $m^3/s$ aus der ARA Werdhölzli hinzu, was 93 $m^3/s$ ergibt.
Für die Berechnung der Frachten der Tab.13 wurden die Medianwerte (generell niedriger als die Mittelwerte) aller Parameter benützt. Der Chemismus des Sihlwassers wurde vom Kantonalen Laboratorium Zürich jeweils gleichzeitig mit dem Limmatwasser analysiert. Kolonne c) der Tab.13 enthält die Summe der Frachten der Limmat (Qu) und der Sihl, Kolonne e) die Differenz zwischen den Frachten oberhalb der ARA Werdhölzli (=Qu + Sihl) und unterhalb. Man sieht, dass in absoluten Zahlen vor allem die Menge an Ammonium-N und an Chlorid durch den Abfluss der Kläranlage gewaltig gesteigert wird. Kolonne f) mit dem Steigerungsfaktor zeigt, dass ausser Nitrat-N alle chemischen Komponenten des Limmatwassers beträchtlich zunehmen. Rechnet man die Kolonne e) (Steigerung in g/s) auf die Tagesfrachten um, so erhält man die pro Tag in Dietikon aus der ARA Werdhölzli stammende Stofffracht: 270 kg Gesamt-P, 3700 kg $NH_4^+$-N, 95 kg $NO_2^-$-N, 27 000 kg Chlorid. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die Stelle Di mehr als 6 km unterhalb der Kläranlage Werdhölzli liegt, das heisst der Fluss hat infolge seiner Selbstreinigungskraft bereits einen Teil der Nährstoffe abgebaut. Die Unterschiede der Nitratfracht sind in Anbetracht der Bestimmungsmethode nicht

statistisch gesichert.

Tabelle 13: Verteilung von Stofffrachten (P- und N-Verbindungen, Chlorid) oberhalb und unterhalb der ARA Werdhölzli, berechnet mit den Medianwerten der Jahre 1975-1978.
a) Probenahmestelle Quaibrücke (Qu)
b) Sihl
c) = a) + b)
d) Probenahmestelle Dietikon (Di)
e) = d) - c)
f) = d)/c)

| | | a) | b) | c) | d) | e) | f) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abflussmenge | $[m^3/s]$ | 84 | 6 | 90 | 93 | | 1,03 |
| $PO_4^{3-}$-P | [g/s] | 1,7 | 0,8 | 2,5 | 5,6 | 3,1 | 2,24 |
| Gesamt-P | [g/s] | 5,0 | 1,2 | 6,2 | 9,3 | 3,1 | 1,5 |
| Ammonium-N | [g/s] | 1,7 | 1,3 | 3,0 | 45,6 | 42,6 | 15,2 |
| Nitrit-N | [g/s] | 0,5 | 0,1 | 0,6 | 1,7 | 1,1 | 2,83 |
| Nitrat-N | [g/s] | 42,0 | 6,6 | 48,6 | 46,5 | -2,1 | 0,96 |
| Total anorg.N | [g/s] | 44,2 | 8,0 | 52,2 | 93,8 | 41,5 | 1,80 |
| Chlorid | [g/s] | 252 | 29 | 281 | 595 | 314 | 2,12 |

Im Zusammenhang mit den Stofffrachten lässt sich auch das N:P-Verhältnis ausrechnen, welches nach SCHWOERBEL (1971) aussagt, ob Phosphor oder Stickstoff Minimumstoff eines Gewässers ist. Ist das Verhältnis grösser als 7:1 (z.B. 12:1), so ist Phosphor der Minimumstoff. Dabei sollten sowohl die anorganischen als auch die organischen Stickstoffkomponenten berücksichtigt werden. Wie früher erwähnt wurde, ist der organische Stickstoff nicht ausgewertet worden. Es zeigt sich nun, dass für die Limmat bereits der Quotient anorganischer Stickstoff:Gesamt-P an der Stelle Qu 8,8 und bei Di 10,0 beträgt. Unter Berücksichtigung des organischen Stickstoffs würde er noch steigen, so dass für das Limmatwasser Phosphor der Minimumfaktor sein dürfte.

## 8.17. Chemismus des Limmatwassers 1975-1978 im Vergleich zu 1943/44

Die Resultate der einjährigen Limmatuntersuchung 1943/44 (THOMAS 1946/1948) lassen sich zum Teil direkt mit den Ergebnissen 1975-1978 vergleichen. 1943/44 wurde jeden Monat eine Probe erhoben. Für folgende chemische Parameter lässt sich ein Vergleich ziehen:

- Sauerstoff: 1975-1978 schwankt der $O_2$-Gehalt wesentlich weniger an den Probenahmestellen als 1943/44. Die früher gemessenen minimalen Sauerstoffsättigungen zwischen 60 und 70 % wurden diesmal nie registriert. Im allgemeinen enthält das Limmatwasser etwa einen Zehntel weniger $O_2$ als vor 35 Jahren.
- $KMnO_4$-Verbrauch: alle Werte sind 1975-1978 etwas niedriger; der Anstieg auf maximale Werte bei El blieb etwa gleich.
- Anorganischer Stickstoff: Werte ähnlich wie früher verteilt, nur liegen sie jetzt um einen Fünftel höher.
- Chloride: $Cl^-$-Gehalt ist heute an allen Stellen ungefähr 1 mg/l höher; die Verteilung ist ähnlich. Diese Zunahme ist offensichtlich darauf zurückzuführen, dass der Chloridgehalt des Zürichseewassers seit dem Kriege um etwa 1 mg/l zugenommen hat.

# 9. BAKTERIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG DES LIMMATWASSERS

## 9.1. Allgemeines

Die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen schwankten stärker als die der chemischen Untersuchungen. Extreme Werte, welche fünf Mal höher oder tiefer als die nächstfolgenden lagen, wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt. Trotzdem kamen an der gleichen Stelle für eine Bakteriengruppe (Zahl der Coliformen in E1) Werte von 0 bis 2500 zustande. Diese Schwankungen können zum Beispiel durch Regengüsse in der Nacht oder am Vortag der Probenahme bedingt sein.
Die Ueberlebensrate fäkaler Bakterien ist nach REICHARDT (1978) artspezifisch und hängt stark vom jeweiligen Milieu ab. Daher gibt es auch kein universelles Indikatorbakterium, das alle Infektionsgefahren anzeigen würde. Mit der Untersuchung des Wassers auf Coliforme (=Enterobacteriaceae-Gattungen: Escherichia, Citrobacter, Enterobacter und Klebsiella), Enterokokken (=fäkale Streptokokken) und Gesamtkeimzahl (Zahl der auf Plate Count-Agar koloniebildenden Bakterien) erhält man Hinweise auf allfällige Verschmutzungen durch Abwasser.
Abb.10 fasst die Ergebnisse der bakteriologischen Limmatuntersuchung zusammen.

## 9.2. Coliforme Keime

Die Gruppe der Coliformen umfasst nach Schlegel (1972) sowohl Darmbewohner von Warmblütern (zum Beispiel Escherichia coli), als auch Bodenbakterien (zum Beispiel Aerobacter aerogenes). Als Beweis einer fäkalen Verunreinigung kann daher nicht allein die Zahl der coliformen Keime gelten (MOERGELI 1974). Auf dem Endo-C-Agar erfolgt keine Differenzierung nach der Herkunft aus Darm oder Boden; es werden alle Bakterien der Familie Enterobacteriaceae erfasst, welche bei 37 °C Lactose unter Gasbildung vergären. Die Angabe der Resultate erfolgt pro ml Untersuchungswasser.

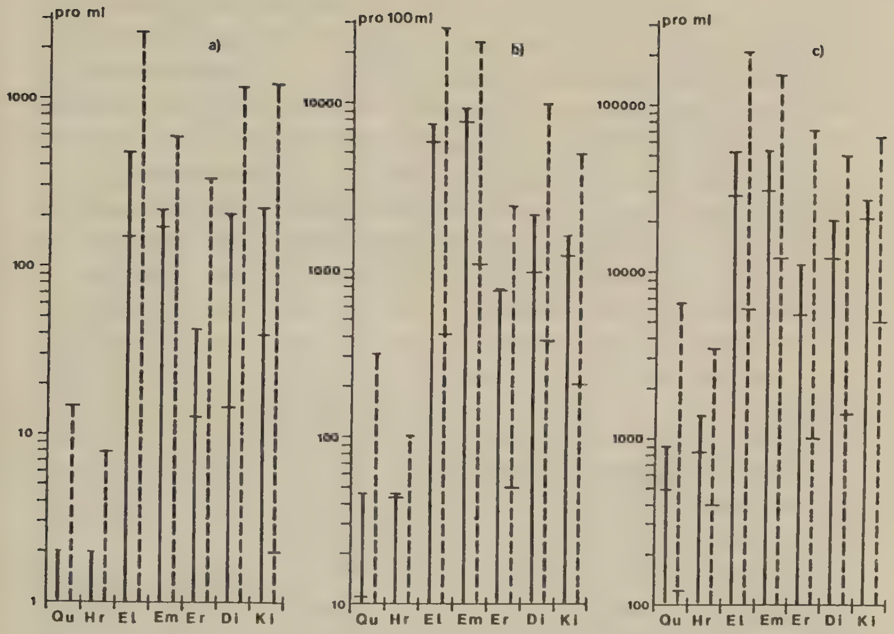


Abbildung 10: Resultate der bakteriologischen Untersuchung des Limmatwassers (halblogarithmische Darstellung) an verschiedenen Probenahmestellen, 1975-1978.
Linke Säule (——) je Mittel- und Medianwert (Mittelwert > Medianwert), rechte Säule (---) je Minimum und Maximum.

a) Coliformenzahl pro ml,
   Medianwert für Qu und Hr = 0,
   Minimum für Qu, Hr, El, Em, Er und Di = 0.
b) Enterokokkenzahl pro 100 ml,
   Minimum für Qu = 0, für Hr = 3.
c) Gesamtkeimzahl pro ml.

Qu=Quaibrücke, Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Em=Engstringen mitte, Er=Engstringen rechts, Di=Dietikon, Ki=Killwangen links.

Die Mittel- und Medianwerte der Coliformenzahl lagen für 1975-1978 an den beiden ersten Probenahmestellen Qu und Hr sehr tief. Bei Engstringen waren die Zahlen auf der linken Seite und in der Flussmitte hoch, wie dies auch zu erwarten war. Die grosse Differenz zwischen Mittel- und Medianwert bei El rührt davon her, dass an einigen Probenahmetagen die Ergebnisse nahe dem Maximum, aber etwa gleich häufig nahe dem Minimum lagen. Die Werte von Er sind absolut gesehen nicht sehr hoch. Immerhin zeigte es sich, dass bei reichlicher Wasserführung offenbar das Abwasser der ARA Werdhölzli stärker auf die rechte Flussseite gedrückt wird. Frappant ist der Unterschied zwischen Mittel- und Medianwert an der Stelle Di (207 gegen 15). Das rührt davon her, dass von total 13 Untersuchungen deren zwei Resultate von 1000 und 1200 Keimen pro ml brachten, während bei weiteren fünf Erhebungen nur gerade 0 bis 5 Coliforme pro ml gezählt wurden. Das erstaunlich hohe Mittel der Stelle Killwangen kann nicht erklärt werden.
Zusammenfassend kann zur Coliformenzahl gesagt werden, dass einige Resultate nicht sehr gesichert erscheinen. Es lässt sich zum Beispiel nicht erklären, dass an der Stelle El die Coliformenzahl einmal 0 beträgt, während im gleichen Monat Chemismus und biologischer Zustand auf starke Verschmutzung hinweisen.

## 9.3. Enterokokken

Enterokokken oder fäkale Streptokokken kommen im Darm von Warmblütern vor. Ihr Auftreten in Gewässern deutet auf fäkale Verschmutzung durch Mensch oder Tier hin. Einige Enterokokkenarten sind pathogen. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt pro 100 ml Untersuchungswasser.
Der Enterokokkengehalt pro 100 ml verläuft in den Grundzügen 1975-1978 entlang den Probenahmestellen ähnlich wie die Coliformenzahl: bei Qu und Hr waren die Werte etwa gleich niedrig, bei den Stellen El und Em wurden die höchsten Zahlen ermittelt (Anstieg um das Fünfzehn- bis Zwanzigfache gegenüber den Punkten oberhalb der ARA Werdhölzli). Der Mittelwert von Di liegt zwi-

schen den Ergebnissen von El/Em und Er, aber doch bereits wesentlich tiefer als bei den am stärksten belasteten Stellen. Zusammenfassend lässt sich zur Enterokokkenzahl sagen, dass die Resultate im Unterschied zur Coliformenzahl sehr realistisch wirken, das heisst, sie entsprechen in den Relationen etwa den auf Grund des Chemismus und der Biologie zu erwartenden Verhältnissen. Ein weiterer Hinweis auf die "Güte" der Ergebnisse ist der generell geringe Unterschied zwischen Mittel- und Medianwerten.

## 9.4. Gesamtkeimzahl

Dieser Wert gibt die Zahl der auf dem betreffenden Nährboden (in unserem Fall PC = Plate Count-Agar) wachsenden heterotrophen Keime an. Die Art des Nährbodens spielt für die Bestimmung der Gesamtkeimzahl eine wichtige Rolle (DEV 1972). Mit den üblichen Nährböden erfasst man nur einen kleinen Teil der in der untersuchten Wasserprobe enthaltenen Bakterien, oft nur etwa einen Zehntel. Dies gilt auch für den hier verwendeten Plate Count-Agar.
Das bei der Enterokokkenzahl Gesagte gilt vergleichsweise auch für die Gesamtkeimzahl: die Werte bei Qu und Hr sowie bei El und Em waren je etwa gleich, diejenigen bei Er lagen deutlich tiefer als bei den anderen Stellen in Engstringen, die Stelle Di ergab Werte zwischen El/Em und Er. Für alle Stellen liegt der Medianwert je etwa bei 50-60 % des Mittelwertes, das heisst die Verteilung der Ergebnisse ist aus statistischer Sicht immer etwa gleich schief.

# 10. BIOLOGISCHE ZUSAMMENSETZUNG DES AUFWUCHSES DER LIMMAT

## 10.1. Allgemeines

Die Zusammensetzung der Organismenpopulation eines Gewässers ist für dessen Zustand ebenso charakteristisch wie der Chemismus oder die Angabe der Bakterienzahlen des Wassers. Pflanzen und Tiere bilden Biocönosen, deren Zusammensetzung von vielen Faktoren abhängt, zum Beispiel von Jahreszeit, Wasserführung, Strömung, Wassertemperatur, Herkunft des Wassers, Lichtverhältnissen, Uferbeschaffenheit, chemischer Verschmutzung, geographischer Lage, Geologie des Flussgrundes. Ein Teil der Faktoren ist naturbedingt, ein anderer zivilisatorisch bedingt. Eine nichttoxische, kurzfristige Aenderung eines oder mehrerer Faktoren verändert die Biocönose nur wenig. Aendern sich aber wichtige Komponenten andauernd, so passt sich die Organismengemeinschaft allmählich an. Solche Anpassungen erfolgen in unbeinflussten Gewässern im Jahreszyklus, das heisst, man erhält bei periodischer Ueberprüfung der Biocönose einen Ueberblick über den Jahresverlauf des biologischen Zustandes; gleich verhält es sich in anthropogen belasteten Gebieten, falls die Belastung gleichmässig ist oder sich zyklisch ändert. Im Unterschied dazu widerspiegelt jede chemische oder bakteriologische Untersuchung nur gerade den im Zeitpunkt der Probenahme herrschenden Zustand.
Der Chemismus kann sich kurzfristig komplett ändern, wenn zum Beispiel plötzlich vermehrte Abwässer in das Untersuchungsgewässer gelangen, oder wenn vor der Probenahme durch ein Gewitter zusätzliche Schmutzstoffe eingeschwemmt wurden. Damit chemische Befunde wirklich umfassend sind, muss eine grosse Zahl von Einzelproben über einen längeren Zeitraum analysiert werden. Biologische Untersuchungen sind in dieser Beziehung viel problemloser durchzuführen; man kann periodisch entweder tierische oder pflanzliche Organismen als Indikatoren des Gewässerzustandes prüfen. Im Projekt MAPOS (1977) der EAWAG dienten zum Beispiel Makroinvertebraten des Flussgrundes als Indikatoren; in der vorliegenden Arbeit sind es Algen und Ciliaten des Aufwuchses. Das Ziel ist bei beiden Methoden der Vergleich von Gewässern. Bei

MAPOS wurden verschiedene Fliessgewässer der ganzen Schweiz miteinander verglichen; hier sind es verschiedene Stellen eines Flusses auf einer gewissen Strecke.
Auf der Anwesenheit oder Abwesenheit von Indikator- oder Leitorganismen sind die verschiedenen Saprobiensysteme aufgebaut. Meist muss dabei die Zusammensetzung einer ganzen Organismengesellschaft beachtet werden. Die Untersuchungen über die Häufigkeit des Vorkommens von Algen und Ciliaten im Aufwuchs der Limmat wurden im Hinblick auf die Erfassung der an den Probenahmestellen vorhandenen Biocönosen durchgeführt. Die Kenntnis der Zusammensetzung der Biocönosen erlaubt eine Einstufung jeder Probenahmestelle in die Saprobiensysteme.

## 10.2. Systematik der markanten und dominanten Organismen des Aufwuchses der Limmat

Es war nicht möglich, im Rahmen dieser Arbeit alle Organismen des Aufwuchses der Limmat zu bestimmen. Daher wurden ausser Sphaerotilus markante Algen und dominante Ciliaten erfasst. Die Auswahl nach den Kriterien markant/dominant geschah nach der Auffälligkeit des Organismus. KANN (1978) verlangt, dass auch für ökologische Untersuchungen jeder Algenfund bis zur Art bestimmt wird. Diese Forderung scheint übertrieben zu sein, besonders wenn ausser den systematischen Bestimmungen noch ökologische Experimente angelegt werden. Auch widerspricht diese Meinung der am "2.Workshop aktiver Phytoplanktologen" 1978 aufgestellten These, wonach eine wirklich gesicherte Angabe der Art nur nach elektronenmikroskopischen Vergleichen möglich sei. Jedenfalls lassen viele Artbeschreibungen bei Algen noch zu wünschen übrig. Ein blosser Arthinweis ("cf.") oder die blosse Angabe der Gattung scheint daher weiterhin zweckmässig.

### 10.2.1. Algen

Für die systematische Gliederung der Algen gilt im folgenden die Einteilung nach FOTT (1971). Die Angaben der ökologischen Charakteristika von Algen und Ciliaten stimmen nicht in allen in

Kapitel 4.4. zitierten Bestimmungsbüchern überein; auch ROUND (1975) und VAN DEN HOEK (1978) haben oft divergierende Ansichten über den Lebensraum einer bestimmten Alge. Dies gilt ebenso für alle Werke, welche die Organismen nach ihrer Saprobiologie klassieren, so zum Beispiel KOLKWITZ (1950), ZELINKA und MARVAN (1961), LIEBMANN (1962), FJERDINGSTAD (1964, 1965), BACKHAUS (1968), SLADECEK (1973), STJERNA-POOTH (1978), usw. Für die folgenden Angaben verarbeitete ich eigene Erfahrungen bei der Untersuchung der Limmat sowie Literaturhinweise.

## Stamm Schizophyta

Sphaerotilus natans: "Abwasserpilz", ein Scheidenbakterium; Einzelfäden sind unter dem Namen Cladothrix dichotoma bekannt. Benötigt zur Entwicklung Reste von Aminosäuren und Kohlehydraten (aus Abwasser). Kann auch bei Temperaturen zwischen 4 und 10 °C in Massen auftreten, was dadurch begünstigt wird, dass bei diesen Temperaturen die Konkurrenzierung durch andere Bakterien eingeschränkt ist. Früher war das Bett der Limmat zeitweise ganz von Sphaerotiluszotten ausgekleidet und es wurden Flocken davon abgetrieben; während der Untersuchungszeit fand ich höchstens stellenweise etwa drei Zentimeter lange Sphaerotiluszotten.

## Stamm Cyanophyta

### Klasse Cyanophyceae (Blaualgen)

In der Limmat waren aus dieser Klasse nur Vertreter der Ordnung Hormogonales markant zu finden. Ausser den nachstehend genannten Blaualgen wurden selten Oscillatoria rubescens und eine Plectonema-Art registriert.

Anabaena spec.: bei den von uns gefundenen Formen war eine Artbestimmung schwierig durchzuführen; die Gattung liess sich gut erkennen.

Oscillatoria limosa: ist eine der häufigsten Oscillatoria-Arten. Wurde in der Limmat immer und überall gefunden.

Oscillatoria spec.: es handelte sich hier um eine relativ schmale (< 5 µm) Art von bräunlicher Farbe, welche an allen Stellen immer wieder auftrat.

Phormidium spec.: wahrscheinlich P. inundatum, wurde in der Limmat nur selten, aber an den Stellen Hardturm und Killwangen markant gefunden.

Stamm Chromophyta

Klasse Chrysophyceae

Aus dieser Klasse war in der Limmat nur eine Art markant:
Hydrurus foetidus: bildet Lager bis zu einigen Zentimetern Länge, ist auch makroskopisch deutlich erkennbar, kommt vor allem in der kälteren Jahreszeit vor.

Klasse Xanthophyceae (Heterokonten)

Tribonema spec.: es handelte sich wahrscheinlich um T. vulgare oder T. minus. Die Gattung Tribonema kam wie Hydrurus meist im Frühling in der Limmat vor.

Vaucheria cf. sessilis: Artbestimmung sehr schwierig. V. sessilis tritt wahrscheinlich in mehreren Varietäten auf und hat ein breites Milieuspektrum.

Klasse Bacillariophyceae (Kieselalgen)

Von den markanten Algen des Limmat-Aufwuchses gehören am meisten Arten zu den Diatomeen. Dabei muss beachtet werden, dass diejenigen Kieselalgen, welche nicht mit einem Stiel befestigt sind, sich auf dem Substrat mehr oder weniger frei bewegen können. Normalerweise lassen sich die zufällig angeschwemmten Diatomeen von den sesshaften abgrenzen. Ein Teil der Kieselalgen des Periphytons lebt epiphytisch auf Grünalgen. Ausser Melosira gehören alle unten notierten Diatomeen zur Ordnung der Pennales. Zusätzlich zu den aufgezählten Arten wurde dreimal die Art Meridion circulare gefunden.

Achnanthes cf.minutissima: Bestimmung sehr schwierig, zum Teil Hinweise auf A. lanceolata. Als Epiphyt immer auf kurzem Gallertstiel, zum Beispiel auf Cladophora und Ulothrix gefunden.

Cocconeis pediculus: die flache "Algenlaus" bedeckt als Epiphyt die Fäden von Cladophora im Sommer fast vollständig.

Cymatopleura solea: diese Art variiert in der Grösse stark. Das längste gefundene Exemplar war etwa achtmal so lang wie das kürzeste.

Cymbella cf.lanceolata: es gibt einige ähnliche Cymbella-Arten dieser Grösse. Cymbella lanceolata wurde in der Limmat meist auf einem Gallertstiel sitzend gefunden.

Cymbella ventricosa: kam zum Teil in Massen innerhalb von Gallertschläuchen vor, zum Teil auch einzeln ohne Gallerte.

Diatoma cf.elongatum: lange Form; bildet zum Teil Ketten von ähnlicher Form wie D. vulgare.

Diatoma vulgare: sehr häufig zu finden; entweder einzeln oder in Zick-Zack-Bändern immer und überall in der Limmat vorkommend.

Fragilaria cf.capucina: tritt sowohl im Plankton, als auch im Aufwuchs von Gewässern auf, bildet Bänder, welche teilweise gedreht sind. Länge und Breite sehr variabel.

Gomphonema spec.: auf Gallertstiel sitzend. Arten sind sehr schwer zu unterscheiden.

Gyrosigma spec.: wahrscheinlich handelte es sich um G. attenuatum oder G. acuminatum.

Melosira varians: trat zeitweise sehr häufig auf. Zusätzlich wurden ganz selten Exemplare mit Punkten wie M. islandica subspec. helvetica gefunden.

Navicula spec.: Navicula war in der Limmat die am stärksten verbreitete Kieselalge. Mindestens fünf Arten kamen häufig vor.

Nitzschia sigmoidea: von den 600 Nitzschia-Arten die einzige, welche im Aufwuchs der Limmat als markant bestimmt wurde. Ist die grösste aller hier gefundenen Diatomeen.

Pinnularia spec.: es handelte sich um mindestens drei Arten; die Identifizierung war nicht möglich, unter anderem wurde P. maior bestimmt.

Rhoicosphenia curvata: Epiphyt, mit Gallertstiel auf Grünalgen lebend.

Synedra cf.ulna: die Synedra-Arten zeigen eine sehr breite Variation der Form, sie kommen zeitweise auch in fächerartigen Zusammenschlüssen vor.

Stamm Rhodophyta (Rotalgen)

Klasse Rhodophyceae

Hildenbrandia rivularis: interessanterweise konnte diese Art nur

an der Stelle Industriebrücke rechts (Ir) gefunden werden. Es gab dort nicht nur ausgelegte Substrate mit Hildenbrandia-Ueberzügen, sondern auf einer kürzeren Strecke waren einige Steine im Flussbett von dieser Rotalge bedeckt.

Stamm Chlorophyta (Grünalgen)

Klasse Clorophyceae

Chlorhormidium spec.: es handelte sich wahrscheinlich um C. rivulare. Die Zellform dieser Alge ist sehr variabel. Chlorhormidium heisst bei manchen Autoren Hormidium.

Cladophora glomerata: die häufigste grüne Alge in der Limmat, sie bildete zugleich den grössten Anteil an der Biomasse des Flusses.

Microspora cf.quadrata: trat immer wieder im Periphyton auf, jedoch nie in Massen.

Monostroma bullosum: die im Zürichsee plötzlich auftretende Alge (SCHANZ 1977) war später auch in der Limmat an verschiedenen Stellen makroskopisch erkennbar.

Oedogonium spec.: Oedogonium-Arten waren in der Limmat nur selten zu finden.

Pediastrum boryanum: zeitweise im Aufwuchs der Limmat häufig vorhanden.

Pediastrum spec.: mindestens eine Art mit Zwischenräumen innerhalb der Mittelzellen wurde in der Limmat gefunden (P. duplex oder P. gracillimum).

Stigeoclonium tenue: diese in der Form sehr charakteristische Alge kam überall immer wieder vor.

Ulothrix zonata: neben Cladophora die häufigste grüne Alge des Aufwuchses, an allen Stellen zu finden. FJERDINGSTAD (1965) erklärt die Verbreitung in Gewässern jedes Verschmutzungsgrades mit zwei verschiedenen Varietäten von U. zonata.

Ulothrix cf.variabilis: die Bestimmung dieser Art kann zusammen mit Microspora und zum Teil Tribonema Probleme bieten.

Klasse Conjugatophyceae

Closterium spec.: es wurden die Arten C. ehrenbergii, C. moniliferum und C. leibleinii sicher bestimmt. Sie werden hier zusam-

mengefasst.

Cosmarium spec.: von den etwa 1000 Cosmarium-Arten wurde in der Limmat mit einiger Sicherheit C. formulosum bestimmt, andere vorkommende Arten wurden nicht identifiziert.

Mougeotia spec.: eine Artbestimmung ist bei der Plattenalge wie bei der nachfolgenden Spirogyra nur bei kopulierenden Fäden möglich.

Spirogyra spec.: die Schraubenalge wurde wenige Male an der Stelle Hardturm rechts registriert.

### 10.2.2. Ciliaten

Die systematische Gliederung der Ciliaten erfolgt nach BICK (1972 a). Bei insgesamt 5000 Arten innerhalb der Klasse Ciliaten (Unterreich Protozoa) musste von Anfang an eine Beschränkung auf eine bestimmte Gruppe vorgenommen werden. Weil die Mitglieder der Ordnung Peritrichida als Anzeiger der Gewässergüte anerkannt sind (NUSCH 1971), wurden davon die dominanten Arten bestimmt. Es handelt sich um fünf Species, alle zur Unterordnung Sessilina gehörend.

Zusätzlich wurden selten einige Individuen von Stentor gefunden. Die Variabilität bezüglich Grösse und zum Teil auch bezüglich Form ist bei allen gefundenen Ciliaten enorm gross, was die Bestimmung stark erschwert. Als Nahrung dienen allen Ciliaten Bakterien.

Carchesium polypinum: an verschmutzten Stellen als graue Flecken auf Substraten makroskopisch erkennbar. Carchesium sitzt immer direkt auf dem Substrat.

Cothurnia annulata: sitzt meist auf grossen Grünalgen, zum Beispiel auf Cladophora und Ulothrix.

Epistylis plicatilis: im Unterschied zu Carchesium und Vorticella ist der Stiel bei Epistylis starr, dafür kann sich der ganze Körper zusammenziehen. Trat zeitweise in Massen auf, kann auf jedem Untergrund angeheftet sein.

Vorticella campanula: die grösste der dominanten Ciliatenarten der Limmat. Kam als einzige an allen Stellen vor.

Vorticella convallaria: ist ein Anzeiger für verschmutztes Was-

ser. Kann wie V. campanula auf jedem Substrat leben.

## 10.3. Resultate der biologischen Untersuchungen der Limmat

Die folgenden Tabellen zeigen die Häufigkeiten der im Kapitel 10.2. erwähnten Organismen an den Probenahmestellen während der Untersuchungsperioden. In der obersten Zeile sind die 20 durchgeführten Untersuchungen numeriert:

01 = Dezember 1975
02 = Februar 1976
03 = Mai 1976
04 = Juni 1976
05 = August 1976
06 = Oktober 1976
07 = Dezember 1976
08 = Februar 1977
09 = März 1977
10 = Mai 1977
11 = Juli 1977
12 = August 1977
13 = Oktober 1977
14 = Dezember 1977
15 = Februar 1978
16 = März 1978
17 = Mai 1978
18 = Juli 1978
19 = September 1978
20 = November 1978

Durchschnittlich wurde alle acht Wochen eine Untersuchung durchgeführt (Minimum 7 Wochen, Maximum 11 Wochen).
In der Zeile "Aufwuchsdichte" steht, wie dicht (1 = wenig, 2 = mittel, 3 = viel) der Aufwuchs auf dem Substrat geschätzt wurde. Bei "Sedimentmenge" (0-3) ist angegeben, wieviel Sediment zwischen dem Periphyton lag. Beides sind relative und rein subjektive Angaben. In der Zeile "Ciliatenflecken sichtbar" (x oder o) steht, ob von blossem Auge auf den Substraten Kolonien von Pro-

tozoen (meist Carchesium, wenig Epistylis) gesehen wurden.
Die Zahlen 1 bis 6 bei den einzelnen Organismen beziehen sich auf die im Kapitel 4.4. definierten Häufigkeiten. Ein Strich (-) bedeutet, dass die Art an dieser Probenahmestelle nie gefunden wurde.
In der Kolonne f (Frequenz) steht, an wievielen Untersuchungstagen der Organismus am betreffenden Punkt gefunden werden konnte.
h gibt die mittlere Häufigkeit während der Anwesenheit der Art an:

$$h = \frac{\Sigma \text{ Häufigkeiten}}{\text{Frèquenz}}$$

Die Tab.14 a) bis 14 f) der 6 Probenahmestellen sind wie folgt gegliedert:

a) allgemeine Angaben
b) Schizophyta
c) Cyanophyta
d) Bacillariophyceae
e) Chrysophyceae
f) Xanthophyceae
g) Rhodophyceae
h) Chlorophyceae
i) Conjugatophyceae
k) Ciliaten

Tabelle 14 a), 1.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle Hardturm rechts (Hr) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Aufwuchsdichte (1-3) | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | | |
| Sedimentmenge (0-3) | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | | |
| Ciliatenflecken sichtb. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| b) Sphaerotilus natans | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 11 | 2,0 |
| c) Anabaena spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2,0 |
| Oscillatoria limosa | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 20 | 2,7 |
| Oscillatoria spec. | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 20 | 2,2 |
| Phormidium spec. | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| d) Achnanthes cf.minutiss. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2,0 |
| Cocconeis pediculus | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 20 | 3,6 |
| Cymatopleura solea | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 8 | 2,1 |
| Cymbella cf.lanceolata | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 13 | 2,2 |
| Cymbella ventricosa | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 19 | 3,0 |
| Diatoma cf.elongatum | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 10 | 2,8 |
| Diatoma vulgare | 5 | 5 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | 3 | 19 | 3,5 |
| Fragilaria cf.capucina | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 16 | 2,7 |
| Gomphonema spec. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Gyrosigma spec. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 10 | 2,0 |
| Melosira varians | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 17 | 2,9 |
| Navicula spec. | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 20 | 3,5 |
| Nitzschia sigmoidea | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2,0 |
| Pinnularia spec. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 11 | 2,0 |
| Rhoicosphenia curvata | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 20 | 2,9 |
| Synedra cf.ulna | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 15 | 2,9 |

Tabelle 14 a), 2.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle <u>Hardturm rechts</u> (Hr) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e) Hydrurus foetidus | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2,0 |
| f) Tribonema spec. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2,0 |
| Vaucheria cf.sessilis | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 11 | 2,2 |
| g) Hildenbrandia rivularis | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| h) Chlorhormidium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2,0 |
| Cladophora glomerata | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 2 | 4 | 5 | 5 | 6 | 5 | 20 | 4,3 |
| Microspora cf.quadrata | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 11 | 2,4 |
| Monostroma bullosum | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,0 |
| Oedogonium spec. | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2,0 |
| Pediastrum boryanum | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 9 | 2,2 |
| Pediastrum spec. | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 11 | 2,3 |
| Stigeoclonium tenue | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 14 | 2,6 |
| Ulothrix zonata | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 20 | 3,4 |
| Ulothrix cf.variabilis | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 11 | 2,1 |
| i) Closterium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 8 | 2,0 |
| Cosmarium spec. | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 11 | 2,4 |
| Mougeotia spec. | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 10 | 2,0 |
| Spirogyra spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2,0 |
| k) Carchesium polypinum | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2,0 |
| Cothurnia annulata | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2,0 |
| Epistylis plicatilis | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2,0 |
| Vorticella campanula | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 20 | 2,5 |
| Vorticella convallaria | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tabelle 14 b), 1.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle Engstringen links (El) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Aufwuchsdichte (1-3) | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | | |
| Sedimentmenge (0-3) | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | | |
| Ciliatenflecken sichtb. | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | |
| b) Sphaerotilus natans | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 20 | 4,5 |
| c) Anabaena spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2,0 |
| Oscillatoria limosa | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 14 | 2,1 |
| Oscillatoria spec. | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 2 | 17 | 2,4 |
| Phormidium spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| d) Achnanthes cf.minutiss. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 9 | 2,1 |
| Cocconeis pediculus | 2 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 19 | 3,2 |
| Cymatopleura solea | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Cymbella cf.lanceolata | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2,0 |
| Cymbella ventricosa | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 5 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 16 | 2,9 |
| Diatoma cf.elongatum | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 7 | 2,1 |
| Diatoma vulgare | 4 | 5 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 18 | 3,1 |
| Fragilaria cf.capucina | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 8 | 2,3 |
| Gomphonema spec. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Gyrosigma spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Melosira varians | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 15 | 2,5 |
| Navicula spec. | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 20 | 2,9 |
| Nitzschia sigmoidea | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Pinnularia spec. | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6 | 2,0 |
| Rhoicosphenia curvata | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 17 | 2,5 |
| Synedra cf.ulna | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 11 | 2,5 |

Tabelle 14 b), 2.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle <u>Engstringen links</u> (El) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e) Hydrurus foetidus | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2,0 |
| f) Tribonema spec. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Vaucheria cf.sessilis | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9 | 2,6 |
| g) Hildenbrandia rivularis | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| h) Chlorhormidium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2,0 |
| Cladophora glomerata | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 2 | 1 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 19 | 4,3 |
| Microspora cf.quadrata | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 2,3 |
| Monostroma bullosum | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2,0 |
| Oedogonium spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pediastrum boryanum | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2,0 |
| Pediastrum spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8 | 2,0 |
| Stigeoclonium tenue | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 13 | 2,5 |
| Ulothrix zonata | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 4 | 17 | 2,7 |
| Ulothrix cf.variabilis | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 2,5 |
| i) Closterium spec. | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 8 | 2,3 |
| Cosmarium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 7 | 2,1 |
| Mougeotia spec. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2,0 |
| Spirogyra spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| k) Carchesium polypinum | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 20 | 4,5 |
| Cothurnia annulata | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Epistylis plicatilis | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 18 | 3,1 |
| Vorticella campanula | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 18 | 2,1 |
| Vorticella convallaria | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 19 | 2,4 |

Tabelle 14 c), 1.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle Engstringen rechts (Er) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Aufwuchsdichte (1-3) | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | | |
| Sedimentmenge (0-3) | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | | |
| Ciliatenflecken sichtb. | o | o | o | o | o | o | o | o | o | x | x | o | x | o | o | o | o | o | o | o | | |
| b) Sphaerotilus natans | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 20 | 3,0 |
| c) Anabaena spec. | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 7 | 2,0 |
| Oscillatoria limosa | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 17 | 2,3 |
| Oscillatoria spec. | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 4 | 2 | 17 | 2,5 |
| Phormidium spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| d) Achnanthes cf.minutiss. | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2,0 |
| Cocconeis pediculus | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 20 | 3,7 |
| Cymatopleura solea | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2,0 |
| Cymbella cf.lanceolata | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 9 | 2,2 |
| Cymbella ventricosa | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 18 | 2,8 |
| Diatoma cf.elongatum | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 13 | 2,3 |
| Diatoma vulgare | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 | 20 | 3,2 |
| Fragilaria cf.capucina | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 15 | 2,4 |
| Gomphonema spec. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 7 | 2,0 |
| Gyrosigma spec. | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2,0 |
| Melosira varians | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 18 | 2,8 |
| Navicula spec. | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 20 | 3,4 |
| Nitzschia sigmoidea | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 7 | 2,0 |
| Pinnularia spec. | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2,0 |
| Rhoicosphenia curvata | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 19 | 2,5 |
| Synedra cf.ulna | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 14 | 2,6 |

Tabelle 14 c ), 2.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle Engstringen rechts (Er) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e) Hydrurus foetidus | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| f) Tribonema spec. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1′ | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2,0 |
| Vaucheria cf.sessilis | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 | 2,6 |
| g) Hildenbrandia rivularis | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| h) Chlorhormidium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2,0 |
| Cladophora glomerata | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 | 4 | 5 | 5 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 4 | 20 | 4,3 |
| Microspora cf.quadrata | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 10 | 2,5 |
| Monostroma bullosum | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3,0 |
| Oedogonium spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pediastrum boryanum | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 6 | 2,0 |
| Pediastrum spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 8 | 2,0 |
| Stigeoclonium tenue | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 15 | 2,3 |
| Ulothrix zonata | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 20 | 2,9 |
| Ulothrix cf.variabilis | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,4 |
| i) Closterium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 10 | 2,3 |
| Cosmarium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 7 | 2,1 |
| Mougeotia spec. | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 2,2 |
| Spirogyra spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| k) Carchesium polypinum | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 13 | 2,4 |
| Cothurnia annulata | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Epistylis plicatilis | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8 | 2,0 |
| Vorticella campanula | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 20 | 2,6 |
| Vorticella convallaria | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 10 | 2,0 |

Tabelle 14 d), 1.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle Industriebrücke links (Il) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Aufwuchsdichte (1-3) | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | | |
| Sedimentmenge (0-3) | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | | |
| Ciliatenflecken sichtb. | x | x | x | o | o | x | x | x | o | x | x | o | o | x | x | x | x | o | o | x | | |
| b) Sphaerotilus natans | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 20 | 4,0 |
| c) Anabaena spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 11 | 2,0 |
| Oscillatoria limosa | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 18 | 2,2 |
| Oscillatoria spec. | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 20 | 2,4 |
| Phormidium spec. | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| d) Achnanthes cf.minutiss. | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2,0 |
| Cocconeis pediculus | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 20 | 3,1 |
| Cymatopleura solea | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Cymbella cf.lanceolata | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2,0 |
| Cymbella ventricosa | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | 2 | 3 | 16 | 2,8 |
| Diatoma cf.elongatum | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 9 | 2,1 |
| Diatoma vulgare | 4 | 5 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 | 2 | 20 | 3,4 |
| Fragilaria cf.capucina | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 12 | 2,2 |
| Gomphonema spec. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6 | 2,0 |
| Gyrosigma spec. | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Melosira varians | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 14 | 2,7 |
| Navicula spec. | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 20 | 3,0 |
| Nitzschia sigmoidea | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Pinnularia spec. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6 | 2,0 |
| Rhoicosphenia curvata | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 20 | 2,5 |
| Synedra cf.ulna | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 | 13 | 2,7 |

Tabelle 14 d), 2.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle Industriebrücke links (Il) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e) Hydrurus foetidus | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,2 |
| f) Tribonema spec. | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Vaucheria cf.sessilis | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 13 | 2,5 |
| g) Hildenbrandia rivularis | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| h) Chlorhormidium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2,0 |
| Cladophora glomerata | 5 | 4 | 5 | 5 | 6 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 5 | 4 | 20 | 4,2 |
| Microspora cf.quadrata | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 9 | 2,3 |
| Monostroma bullosum | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3,0 |
| Oedogonium spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pediastrum boryanum | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2,0 |
| Pediastrum spec. | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 9 | 2,0 |
| Stigeoclonium tenue | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 16 | 2,6 |
| Ulothrix zonata | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 16 | 2,6 |
| Ulothrix cf.variabilis | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 9 | 2,2 |
| i) Closterium spec. | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 7 | 2,0 |
| Cosmarium spec. | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 8 | 2,0 |
| Mougeotia spec. | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2,0 |
| Spirogyra spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| k) Carchesium polypinum | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | 6 | 4 | 4 | 3 | 4 | 20 | 3,5 |
| Cothurnia annulata | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Epistylis plicatilis | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 18 | 2,3 |
| Vorticella campanula | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 20 | 2,2 |
| Vorticella convallaria | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 13 | 2,3 |

Tabelle 14 e), 1.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle Industriebrücke rechts (Ir) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Aufwuchsdichte (1-3) | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | | |
| Sedimentmenge (0-3) | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | | |
| Ciliatenflecken sichtb. | o | x | x | o | o | o | o | o | o | x | x | o | o | o | x | x | o | o | o | o | | |
| b) Sphaerotilus natans | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 20 | 3,4 |
| c) Anabaena spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 8 | 2,0 |
| Oscillatoria limosa | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 18 | 2,3 |
| Oscillatoria spec. | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 19 | 2,3 |
| Phormidium spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| d) Achnanthes cf.minutiss. | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2,0 |
| Cocconeis pediculus | 3 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 20 | 3,4 |
| Cymatopleura solea | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2,0 |
| Cymbella cf.lanceolata | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 7 | 2,0 |
| Cymbella ventricosa | 3 | 5 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 17 | 2,9 |
| Diatoma cf.elongatum | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 14 | 2,5 |
| Diatoma vulgare | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 20 | 3,2 |
| Fragilaria cf.capucina | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 15 | 2,4 |
| Gomphonema spec. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 6 | 2,0 |
| Gyrosigma spec. | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 2,0 |
| Melosira varians | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 16 | 2,6 |
| Navicula spec. | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 20 | 3,3 |
| Nitzschia sigmoidea | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 8 | 2,0 |
| Pinnularia spec. | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 2,0 |
| Rhoicosphenia curvata | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 20 | 2,6 |
| Synedra cf.ulna | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 13 | 2,5 |

Tabelle 14 e), 2.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle <u>Industriebrücke rechts</u> (Ir) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e) Hydrurus foetidus | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 6 | 2,5 |
| f) Tribonema spec. | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1' | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Vaucheria cf.sessilis | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 12 | 2,8 |
| g) Hildenbrandia rivularis | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2,3 |
| h) Chlorhormidium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2,0 |
| Cladophora glomerata | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 20 | 4,1 |
| Microspora cf.quadrata | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 9 | 2,3 |
| Monostroma bullosum | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 4 | 3 | 5 | 2 | 1 | 1 | 1 | 6 | 3,5 |
| Oedogonium spec. | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Pediastrum boryanum | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2,0 |
| Pediastrum spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2,0 |
| Stigeoclonium tenue | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 12 | 2,6 |
| Ulothrix zonata | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 19 | 2,4 |
| Ulothrix cf.variabilis | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 7 | 2,1 |
| i) Closterium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 9 | 2,0 |
| Cosmarium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2· | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8 | 2,0 |
| Mougeotia spec. | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Spirogyra spec. | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| k) Carchesium polypinum | 2 | 4 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 18 | 2,7 |
| Cothurnia annulata | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Epistylis plicatilis | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 17 | 2,5 |
| Vorticella campanula | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 20 | 2,3 |
| Vorticella convallaria | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 15 | 2,0 |

Tabelle 14 f), 1.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle <u>Killwangen links</u> (Ki) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.
(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Aufwuchsdichte (1-3) | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | | |
| Sedimentmenge (0-3) | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | |
| Ciliatenflecken sichtb. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| b) Sphaerotilus natans | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 19 | 2,4 |
| c) Anabaena spec. | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 10 | 2,1 |
| Oscillatoria limosa | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 20 | 2,4 |
| Oscillatoria spec. | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 20 | 2,5 |
| Phormidium spec. | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8 | 2,3 |
| d) Achnanthes cf.minutiss. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2,0 |
| Cocconeis pediculus | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 20 | 3,4 |
| Cymatopleura solea | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2,0 |
| Cymbella cf.lanceolata | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 9 | 2,2 |
| Cymbella ventricosa | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 20 | 3,0 |
| Diatoma cf.elongatum | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 13 | 2,1 |
| Diatoma vulgare | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 20 | 3,1 |
| Fragilaria cf.capucina | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 18 | 2,5 |
| Gomphonema spec. | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 11 | 2,0 |
| Gyrosigma spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 9 | 2,0 |
| Melosira varians | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 20 | 2,7 |
| Navicula spec. | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 20 | 3,4 |
| Nitzschia sigmoidea | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Pinnularia spec. | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 6 | 2,0 |
| Rhoicosphenia curvata | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 20 | 2,8 |
| Synedra cf.ulna | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 17 | 2,4 |

Tabelle 14 f), 2.Teil: Häufigkeit (1-6) der Organismen an der Probenahmestelle Killwangen links (Ki) während der Untersuchungsperioden 01-20, 1975-1978.

(Frequenz f=Anzahl der Funde; h=mittlere Häufigkeit der Funde)

| Untersuchungsperioden | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | f | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e) Hydrurus foetidus | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| f) Tribonema spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Vaucheria cf.sessilis | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 15 | 2,5 |
| g) Hildenbrandia rivularis | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| h) Chlorhormidium spec. | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 7 | 2,3 |
| Cladophora glomerata | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 20 | 4,1 |
| Microspora cf.quadrata | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 8 | 2,1 |
| Monostroma bullosum | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2,8 |
| Oedogonium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2,0 |
| Pediastrum boryanum | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 9 | 2,0 |
| Pediastrum spec. | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 11 | 2,0 |
| Stigeoclonium tenue | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 11 | 2,5 |
| Ulothrix zonata | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 19 | 2,8 |
| Ulothrix cf.variabilis | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 14 | 2,4 |
| i) Closterium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 7 | 2,0 |
| Cosmarium spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 12 | 2,3 |
| Mougeotia spec. | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 12 | 2,2 |
| Spirogyra spec. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| k) Carchesium polypinum | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 5 | 2,0 |
| Cothurnia annulata | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 11 | 2,2 |
| Epistylis plicatilis | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 7 | 2,1 |
| Vorticella campanula | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 20 | 2,5 |
| Vorticella convallaria | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 2,0 |

## 10.4. Auswertung der Resultate der biologischen Untersuchungen

Von den in der Limmat festgestellten 44 Organismen wurden an der Stelle Hardturm rechts (Hr) 43 mindestens einmal gefunden; in Killwangen (Ki) waren es 41, bei der Industriebrücke rechts (Ir) 40, in Engstringen rechts (Er) 39 und links (El) 37. Ebenfalls 37 Organismen wurden an der Stelle Industriebrücke links (Il) registriert.

Bei maximal möglichen 120 Funden (6 Stellen mit je 20 Probenahmen) wurde Navicula immer festgestellt, Cladophora und Cocconeis 119mal, Vorticella campanula 118mal, Diatoma vulgare 117mal, Rhoicosphenia 116mal und Sphaerotilus 110mal. Am anderen Ende der Skala stehen Spirogyra mit 2, Hildenbrandia mit 4 und Oedogonium mit 8 Funden.

Zur Illustration sind die Häufigkeiten des Vorkommens von 10 markanten oder dominanten Organismen der Probenahmestellen in den Abb.11 b) und 11 c) graphisch dargestellt. In Abb.11 a) ist das Schema erklärt.

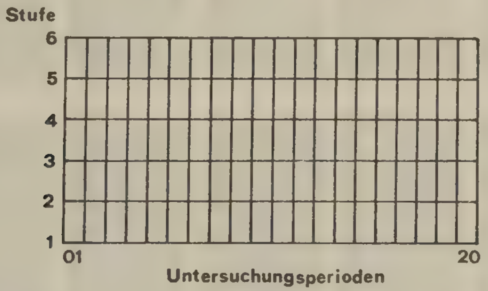


Abbildung 11 a): Schema der Abb.11 b) und 11 c) für die Häufigkeit des Vorkommens von Organismen an den Probenahmestellen der Limmat, 1975-1978.
Waagrecht: 01 - 20 = Untersuchungsperioden.
Senkrecht: 1 - 6 = Häufigkeitsstufen, jedes Rechteck bedeutet eine Stufe der Häufigkeitsskala (Abb.5, S.16).
(Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Er=Engstringen rechts, Il=Industriebrücke links, Ir=Industriebrücke rechts, Ki=Killwangen links)

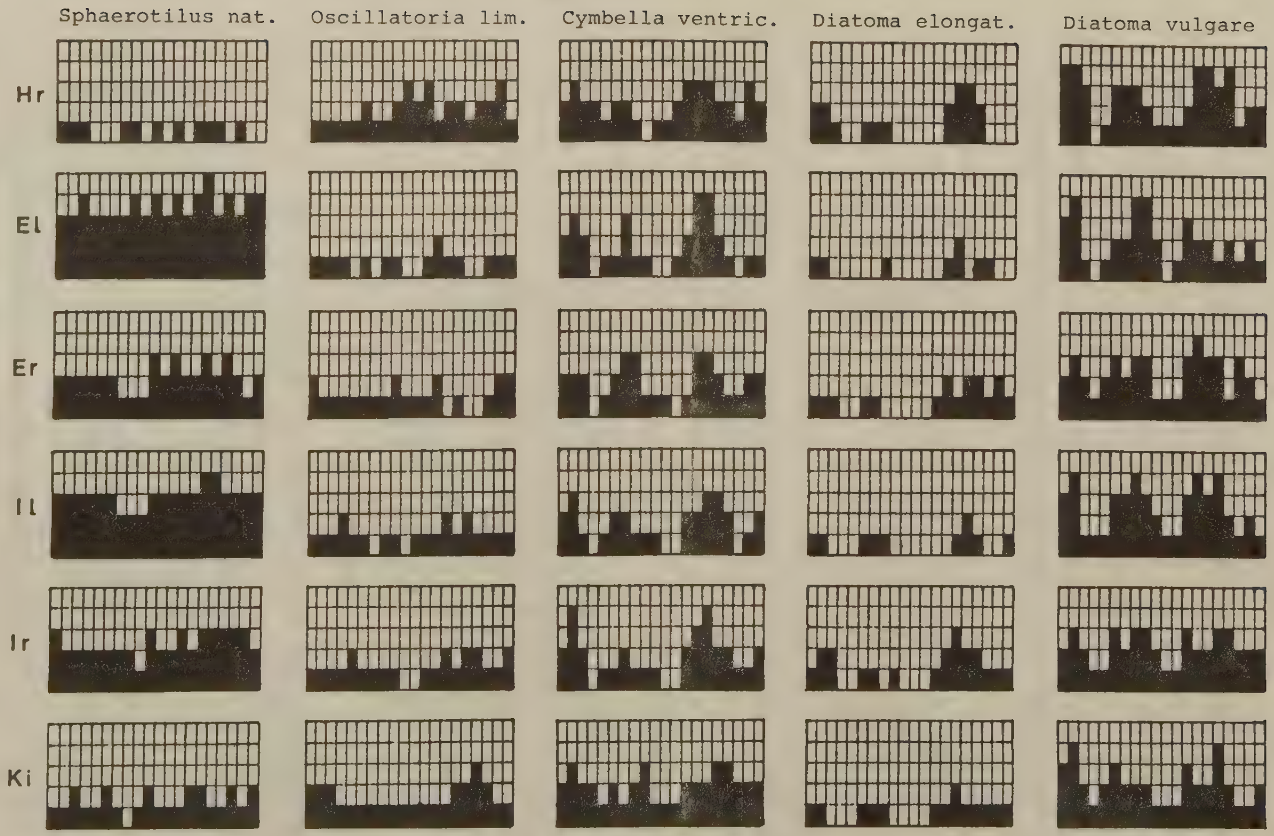


Abb.11 b): Häufigkeit des Vorkommens von Organismen an den Probenahmestellen, vergl. Abb.11 a).

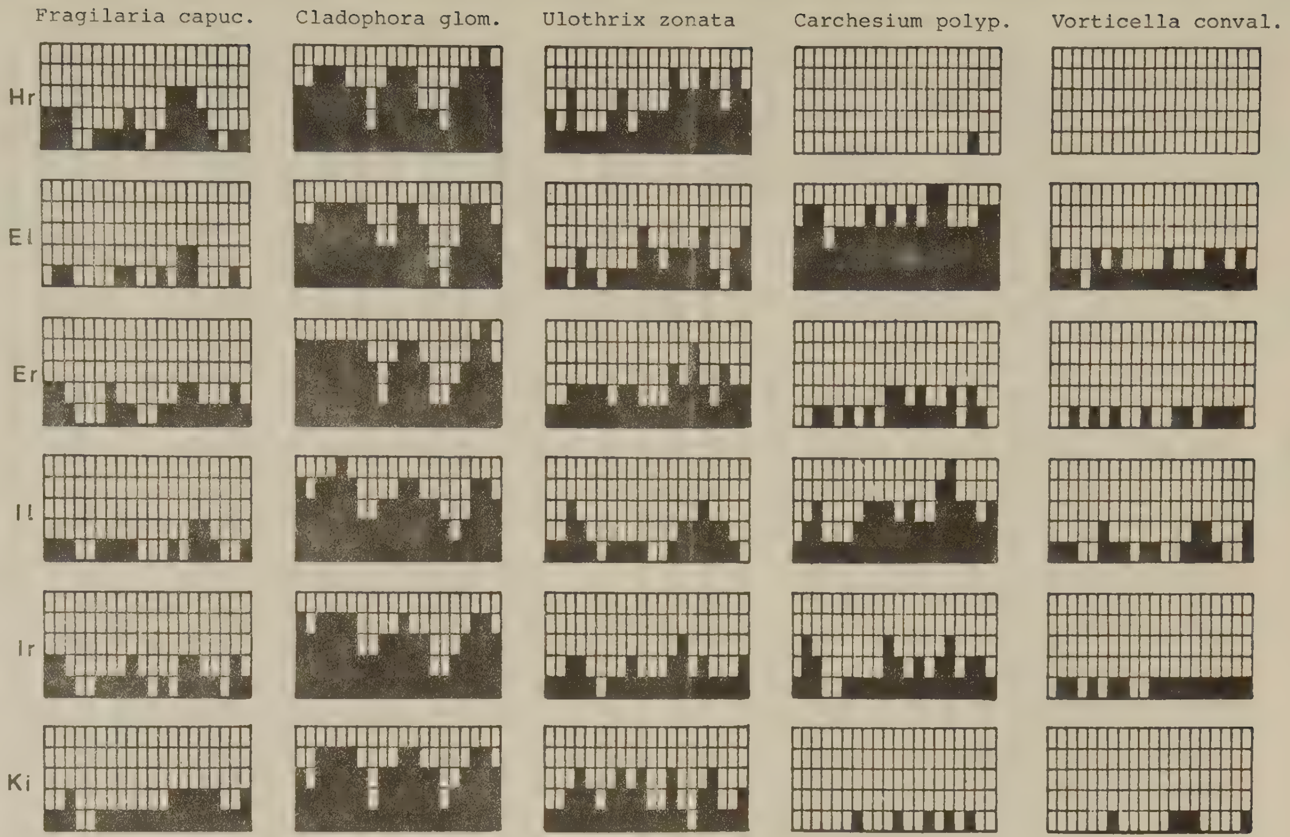


Abb.11 c): Häufigkeit des Vorkommens von Organismen an den Probenahmestellen, vergl. Abb.11 a).

Im folgenden werden die einzelnen Gruppen der Artenlisten (Tab. 14 a) bis 14 f) besprochen:

a) allgemeine Angaben

Faktoren, welche die Aufwuchsdichte beeinflussen sind unter anderem: Jahreszeit, Nährstoffangebot, Beschaffenheit der Substratoberfläche, Lage des Substrates in der Strömung, Fliessgeschwindigkeit und mitgeführte Schwebstoffe. Ein offenes Problem ist der Einfluss des Tierfrasses auf die Aufwuchsdichte. Wie Kontrollen zeigten, wurden frisch ausgelegte Steine in jeder Jahreszeit bei normaler Wasserführung schnell besiedelt. Pioniere waren häufig einzellige Organismen, welche nach einiger Zeit nicht mehr augenfällig in Erscheinung traten, weil sie komplett überwachsen wurden. Das Nährstoffangebot war für jede Probenahmestelle ziemlich konstant, so dass dieser Faktor kaum eine Rolle spielte. Die Beschaffenheit der Substratoberfläche und die Lage der Steine im Fluss waren für die Versuche immer etwa ähnlich. Am entscheidensten für die Aufwuchsdichte waren vermutlich die Fliessgeschwindigkeit und die mitgeführten Schwebstoffe. Diese beiden Faktoren hängen vor allem von der Wasserführung ab; die Geschwindigkeit der Strömung kann um ein Mehrfaches zunehmen, was unter Umständen dazu führt, dass fädiger Aufwuchs von der Oberfläche der Substrate weggerissen wird. Dafür können dann Schwebstoffe abgelagert werden, so dass ein Gewitter die Struktur des Aufwuchses vollständig ändern kann. Das Sediment behindert anschliessend das Wachstum des Bewuchses. Interessant ist, dass an allen Probenahmestellen Sediment abgelagert wird, ein Teil wird wahrscheinlich immer wieder neu aufgewirbelt und mitgerissen.
Protozoen traten nur an den verschmutzten Stellen so häufig auf, dass ihre Kolonien makroskopisch erkennbar waren.

b) Schizophyta

Bei der Probenahmestelle Hardturm rechts (Hr) wurde Sphaerotilus nur selten und nur in Form von schwierig identifizierbaren Einzelfäden (Cladothrix dichotoma) gefunden. Nach meinen Beobach-

tungen trat er vor allem nach einem Hochwasser auf, wenn wahrscheinlich die Hochwasserentlastungen der Kanalisation der Stadt Zürich in Funktion waren, so dass Abwasser dem Limmatwasser beigemischt war. Am meisten wurde Sphaerotilus erwartungsgemäss bei der Stelle Engstringen links (El) notiert, wo er immer mindestens mit der Häufigkeit 4 vorkam. In Engstringen rechts (Er) schwankte sein Auftreten stark; wahrscheinlich spielten hier Wasserführung und Strömung eine Rolle, indem wechselnde Mengen von Abwasser der ARA Werdhölzli auf die rechte Limmatseite gelangten. An den beiden Stellen bei der Industriebrücke variierte das Vorkommen des Bakteriums nur wenig; links trat es eindeutig mehr auf als rechts. In Killwangen (Ki) fand ich zeitweise nur Einzelfäden oder kleine Büschel von Cladothrix dichotoma.

c) Cyanophyceae

Von den Blaualgen war Phormidium nur an den Stellen Hardturm rechts (Hr) und Killwangen (Ki) hie und da zu finden. Anabaena kam an allen Probenahmestellen von Zeit zu Zeit in geringer Menge vor. Von den Oscillatoria-Arten trat fast immer und überall mindestens eine auf.

d) Bacillariophyceae

Die Gattung Navicula kam am häufigsten von allen Algen vor, allerdings in verschiedenen Arten. Sehr häufig waren die Epiphyten Cocconeis und Rhoicosphenia. Sie lebten vor allem auf Cladophora oder Ulothrix; Vaucheria war hingegen kein beliebtes Substrat. Auffällig ist, dass Cymatopleura und Gyrosigma an den Stellen Engstringen links und Industriebrücke links nie festgestellt werden konnten. Beide scheinen abwasserbelastetes Wasser nicht zu schätzen. Generell kamen die Kieselalgen vom Herbst bis im Frühling häufiger vor als im Sommer. In der Literatur wird dies mit einer besseren Adaptation an die in der kälteren Jahreszeit herrschenden Lichtverhältnisse erklärt. Daher ist dann die Konkurrenzfähigkeit der Diatomeen gegenüber den grünen Algen verbessert.

e) Chrysophyceae

Hydrurus, als einzige markante Art der Chrysophyceae, liebt vor allem kälteres Wasser. Er kam im Spätwinter an allen Stellen selten vor, war dann aber wegen seiner dichten, braun-gelben Fäden auch makroskopisch zu erkennen.

f) Xanthophyceae

Die beiden fädigen grünen Algen Tribonema und Vaucheria traten nie in grosser Menge in Erscheinung. Vaucheria, mit ihren schlauchförmigen Fäden ohne Zellgrenzen, war unter dem Mikroskop leicht zu identifizieren; wie bereits früher erwähnt, gilt dies nicht für Tribonema.

g) Rhodophyceae

Hildenbrandia kam nur an einer Stelle vor, war dann aber auch makroskopisch gut zu sehen. Dieses auf einen Ort und eine kürzere Zeit beschränkte Auftreten lässt sich nicht erklären.

h) Chlorophyceae

Cladophora lieferte den grössten Anteil an der Biomasse im Aufwuchs der Limmat. Die anderen Grünalgen waren seltener und nie in grossen Mengen festzustellen. Stigeoclonium war manchmal auf Steinen als hellgrünes Bäumchen von blossem Auge erkennbar. Ebenfalls makroskopisch erkannte ich Monostroma.

i) Conjugatophyceae

Die Einzeller Closterium und Cosmarium kamen immer wieder an allen Stellen in geringer Anzahl vor; das Gleiche gilt auch für Mougeotia. Spirogyra konnte hingegen nur zweimal in geringer Zahl an der Stelle Hardturm rechts gefunden werden.

k) Ciliaten

Vorticella campanula trat als einziger Ciliat praktisch immer und überall auf. Im Gegensatz dazu, war das Vorkommen von Cothurnia auf die Stellen Hardturm rechts und Killwangen be-

schränkt. Carchesium, Epistylis und Vorticella convallaria waren vor allem an den abwasserbelasteten Punkten zu finden, was den Literaturangaben entspricht.

# 11. PRIMAERPRODUKTION DES AUFWUCHSES DER LIMMAT

## 11.1. Allgemeines

Die Erfassung der Produktionsleistung des Aufwuchses und der Makrophyten in einem Fliessgewässer ist problematisch (WETZEL 1964, 1965; SCHINDLER et al. 1973; VOLLENWEIDER 1974; BOTT et al. 1978). Die Angabe der Bezugsgrösse der Primärproduktion in der Literatur ist uneinheitlich. Der assimilierte Kohlenstoff wird pro $m^2$ und Tag oder Jahr angegeben, oder es wird pro Biomasseeinheit des Aufwuchses gerechnet. Auch die Bestimmung der Biomasse geschieht nicht einheitlich; je nach Autor wird von Trockengewicht, Glührückstand, Chlorophyllgehalt, ATP-Gehalt, Organismenzahl usw. ausgegangen. Dies hängt damit zusammen, dass sich bis heute keine Methode ganz durchsetzen konnte. Sowohl C-14-, als auch $O_2$-Methode sind in zahlreichen Varianten verbreitet. Nach WETZEL (WHITTON 1975) kann jede Messung der Primärproduktion in einem Fluss nur eine Schätzung sein; es sei unmöglich, die Biomasse komplett zu erfassen.

## 11.2. Resultate der Produktionsmessungen

Total wurde 12mal die Primärproduktion des Aufwuchses gemessen. Die Numerierung der Untersuchungsperioden beginnt im Unterschied zu den biologischen Untersuchungen mit 101.

101 = März 1977 (7 Wochen)
102 = Mai 1977 (8 Wochen)
103 = Juli 1977 (8 Wochen)
104 = August 1977 (7 Wochen)
105 = Oktober 1977 (8 Wochen)
106 = Dezember 1977 (7 Wochen)
107 = Februar 1978 (8 Wochen)
108 = März 1978 (7 Wochen)
109 = Mai 1978 (7 Wochen)
110 = Juli 1978 (8 Wochen)
111 = September (8 Wochen)
112 = November 1978 (9 Wochen)

In Tab.15 a) sind die Werte der Primärproduktion pro $cm^2$ Aufwuchs festgehalten, in Tab.15 b) diejenigen pro mg Trockengewicht des Aufwuchses. Die Werte sind in dpm (Zerfälle pro Minute) angegeben. Aus den Resultaten lassen sich folgende Mittelwerte für die ganze Untersuchungszeit berechnen:

- Hardturm rechts (Hr): 3500 $dpm/cm^2$ Aufwuchs (Minimum 1000, Maximum 8100), 730 dpm/mg TG des Aufwuchses (Minimum 290, Maximum 1500);
- Engstringen links (El): 4600 $dpm/cm^2$ Aufwuchs (Minimum 1200, Maximum 10000), 820 dpm/mg TG des Aufwuchses (Minimum 350, Maximum 1600);
- Engstringen rechts (Er): 3900 $dpm/cm^2$ Aufwuchs (Minimum 1300, Maximum 8400), 950 dpm/mg TG des Aufwuchses (Minimum 470, Maximum 1800);
- Industriebrücke links (Il): 4600 $dpm/cm^2$ Aufwuchs (Minimum 1600, Maximum 9100), 920 dpm/mg TG des Aufwuchses (Minimum) 360, Maximum 1700);
- Industriebrücke rechts (Ir): 4400 $dpm/cm^2$ Aufwuchs (Minimum 1500, Maximum 10000), 990 dpm/mg TG des Aufwuchses (Minimum 440, Maximum 1700);
- Killwangen links (Ki): 1500 $dpm/cm^2$ Aufwuchs (Minimum 680, Maximum 3000), 550 dpm/mg TG des Aufwuchses (Minimum 250, Maximum 990).

Während der drei Stunden Expositionszeit der Substrate mit $^{14}C$ konnte beim Chemismus des Wassers keine Aenderung festgestellt werden.

## 11.3. Auswertung der Resultate der Produktionsmessungen

Bei der angewandten Methode der Produktionsmessung waren unter anderem folgende Fehler möglich:

- Aufwuchs uneinheitlich;
- Ablagerung von Schwebestoffen im Periphyton;
- Tierfrass;
- Lichtangebot zu stark oder zu schwach für Algen;
- ohne Strömung anderes Verhalten der Organismen;
- Aufzehren der vorhandenen Nährstoffe;

Tabelle 15 a): Ergebnisse der Aufwuchs-Primärproduktionsmessungen [dpm/cm$^2$ Aufwuchs] an den Probenahmestellen
(1.Teil) der Limmat während der Untersuchungsperioden 101-112, 1977-1978, Expositionszeit 3 Stunden. Angabe von Mittelwert ($\bar{x}$) und Einzelwerten ($x_i$).

| Periode | | Hardturm rechts | Engstring. links | Engstring. rechts |
|---|---|---|---|---|
| 101 | $\bar{x}$ | 2200 | 2400 | 1800 |
| | $x_i$ | 1400, 3000 | 1900, 2100, 3200 | 1300, 2300 |
| 102 | $\bar{x}$ | 3100 | 2900 | 2900 |
| | $x_i$ | 2500, 2800, 4000 | 1800, 4000 | 2100, 3700 |
| 103 | $\bar{x}$ | 4800 | 5300 | 6500 |
| | $x_i$ | 3300, 6300 | 3600, 5800, 6500 | 5500, 5800, 8200 |
| 104 | $\bar{x}$ | 3800 | 5800 | 5100 |
| | $x_i$ | 2600, 5000 | 4200, 7400 | 3700, 6500 |
| 105 | $\bar{x}$ | 2500 | 4100 | 2400 |
| | $x_i$ | 1400, 3600 | 3000, 5200 | 1700, 3100 |
| 106 | $\bar{x}$ | 1300 | 1400 | 1800 |
| | $x_i$ | 1000, 1400, 1500 | 1200, 1600 | 1500, 2100 |
| 107 | $\bar{x}$ | 2600 | 3600 | 3100 |
| | $x_i$ | 1800, 3400 | 2500, 4700 | 2100, 4100 |
| 108 | $\bar{x}$ | 4100 | 5200 | 4300 |
| | $x_i$ | 3100, 5100 | 3800, 6600 | 2900, 5700 |
| 109 | $\bar{x}$ | 4900 | 6300 | 4000 |
| | $x_i$ | 3600, 6200 | 4500, 8100 | 2900, 5100 |
| 110 | $\bar{x}$ | 3500 | 5400 | 3600 |
| | $x_i$ | 2700, 4300 | 3800, 7000 | 2100, 5100 |
| 111 | $\bar{x}$ | 6500 | 7900 | 6600 |
| | $x_i$ | 5300, 6100, 8100 | 5800, 10000 | 4800, 8400 |
| 112 | $\bar{x}$ | 1900 | 3100 | 2800 |
| | $x_i$ | 1400, 2400 | 2200, 4000 | 2100, 3500 |

Tabelle 15 a): Ergebnisse der Aufwuchs-Primärproduktionsmessungen [dpm/cm$^2$ Aufwuchs] an den Probenahmestellen der Limmat während der Untersuchungsperioden 101-112, 1977-1978, Expositionszeit 3 Stunden. Angabe von Mittelwert ($\bar{x}$) und Einzelwerten ($x_i$).
(2.Teil)

| Periode | | Industrie.links | Industrie.rechts | Killwangen links |
|---|---|---|---|---|
| 101 | $\bar{x}$ | 1900 | 2500 | 950 |
| | $x_i$ | 1600, 2200 | 1800, 3200 | 720, 930, 1200 |
| 102 | $\bar{x}$ | 2400 | 3900 | 1200 |
| | $x_i$ | 2000, 2800 | 3000, 4800 | 910, 1500 |
| 103 | $\bar{x}$ | 7400 | 6900 | 2100 |
| | $x_i$ | 5700, 9100 | 4800, 9000 | 1300, 2400, 2600 |
| 104 | $\bar{x}$ | 5800 | 5700 | 1800 |
| | $x_i$ | 4200, 7400 | 4900, 5200, 6900 | 1400, 2300 |
| 105 | $\bar{x}$ | 3800 | 4400 | 1400 |
| | $x_i$ | 2700, 4900 | 3100, 5700 | 1100, 1700 |
| 106 | $\bar{x}$ | 2600 | 2100 | 830 |
| | $x_i$ | 1900, 3300 | 1500, 2700 | 720, 940 |
| 107 | $\bar{x}$ | 3900 | 3000 | 990 |
| | $x_i$ | 2800, 5000 | 2200, 3100, 3600 | 680, 1300 |
| 108 | $\bar{x}$ | 4300 | 4600 | 1400 |
| | $x_i$ | 3000, 4600, 5200 | 3000, 6200 | 1000, 1200, 1900 |
| 109 | $\bar{x}$ | 5100 | 3900 | 1900 |
| | $x_i$ | 4200, 6000 | 2800, 5000 | 1300, 2500 |
| 110 | $\bar{x}$ | 7000 | 4500 | 2000 |
| | $x_i$ | 5200, 7500, 8400 | 3300, 5700 | 1400, 2600 |
| 111 | $\bar{x}$ | 6100 | 7700 | 2300 |
| | $x_i$ | 4500, 7700 | 6300, 6900, 10000 | 1600, 3000 |
| 112 | $\bar{x}$ | 3600 | 2500 | 1100 |
| | $x_i$ | 2700, 4500 | 1800, 3200 | 840, 1400 |

Tabelle 15 b): (1.Teil) Ergebnisse der Aufwuchs-Primärproduktionsmessungen [dpm/mg TG des Aufwuchses] an den Probenahmestellen der Limmat während der Untersuchungsperioden 101-112, 1977-1978, Expositionszeit 3 Stunden.

Angabe von Mittelwert ($\bar{y}$) und Einzelwerten ($y_i$).

| Periode | | Hardturm rechts | Engstring. links | Engstring. rechts |
|---|---|---|---|---|
| 101 | $\bar{y}$ | 400 | 700 | 770 |
| | $y_i$ | 290, 510 | 490, 640, 970 | 560, 980 |
| 102 | $\bar{y}$ | 530 | 470 | 980 |
| | $y_i$ | 380, 570, 640 | 350, 590 | 660, 1300 |
| 103 | $\bar{y}$ | 930 | 830 | 1300 |
| | $y_i$ | 660, 1200 | 600, 790, 1100 | 960, 1200, 1700 |
| 104 | $\bar{y}$ | 770 | 910 | 1100 |
| | $y_i$ | 560, 980 | 620, 1200 | 820, 1400 |
| 105 | $\bar{y}$ | 790 | 910 | 830 |
| | $y_i$ | 580, 1000 | 530, 1300 | 560, 1100 |
| 106 | $\bar{y}$ | 400 | 640 | 690 |
| | $y_i$ | 290, 380, 530 | 470, 810 | 470, 910 |
| 107 | $\bar{y}$ | 730 | 880 | 780 |
| | $y_i$ | 490, 970 | 650, 1100 | 570, 990 |
| 108 | $\bar{y}$ | 550 | 770 | 810 |
| | $y_i$ | 430, 670 | 540, 1000 | 520, 1100 |
| 109 | $\bar{y}$ | 810 | 940 | 950 |
| | $y_i$ | 520, 1100 | 680, 1200 | 600, 1300 |
| 110 | $\bar{y}$ | 890 | 720 | 840 |
| | $y_i$ | 680, 1100 | 500, 940 | 580, 1100 |
| 111 | $\bar{y}$ | 1200 | 1200 | 1400 |
| | $y_i$ | 880, 1200, 1500 | 860, 1600 | 980, 1800 |
| 112 | $\bar{y}$ | 780 | 950 | 790 |
| | $y_i$ | 560, 1000 | 710, 1200 | 580, 1000 |

Tabelle 15 b): Ergebnisse der Aufwuchs-Primärproduktionsmessungen [dpm/mg TG des Aufwuchses] an den Probenahmestellen der Limmat während der Untersuchungsperioden 101-112, 1977-1978, Expositionszeit 3 Stunden.
(2.Teil)

Angabe von Mittelwert ($\bar{y}$) und Einzelwerten ($y_i$).

| Periode | | Industrie.links | Industrie.rechts | Killwangen links |
|---|---|---|---|---|
| 101 | $\bar{y}$ | 530 | 630 | 410 |
| | $y_i$ | 360, 700 | 490, 770 | 300, 370, 560 |
| 102 | $\bar{y}$ | 690 | 890 | 530 |
| | $y_i$ | 470, 910 | 580, 1200 | 390, 670 |
| 103 | $\bar{y}$ | 1100 | 1300 | 620 |
| | $y_i$ | 810, 1400 | 850, 1700 | 420, 630, 810 |
| 104 | $\bar{y}$ | 850 | 1200 | 710 |
| | $y_i$ | 590, 1100 | 880, 1100, 1600 | 520, 900 |
| 105 | $\bar{y}$ | 890 | 1000 | 540 |
| | $y_i$ | 680, 1100 | 710, 1300 | 370, 710 |
| 106 | $\bar{y}$ | 720 | 630 | 360 |
| | $y_i$ | 540, 910 | 440, 820 | 250, 470 |
| 107 | $\bar{y}$ | 740 | 880 | 410 |
| | $y_i$ | 510, 970 | 590, 850, 1200 | 270, 550 |
| 108 | $\bar{y}$ | 840 | 910 | 550 |
| | $y_i$ | 620, 800, 1100 | 720, 1100 | 390, 530, 730 |
| 109 | $\bar{y}$ | 1100 | 1000 | 570 |
| | $y_i$ | 760, 1400 | 720, 1300 | 390, 750 |
| 110 | $\bar{y}$ | 1300 | 1100 | 690 |
| | $y_i$ | 920, 1300, 1700 | 720, 1400 | 480, 900 |
| 111 | $\bar{y}$ | 1200 | 1400 | 740 |
| | $y_i$ | 860, 1500 | 1000, 1500, 1700 | 490, 990 |
| 112 | $\bar{y}$ | 930 | 770 | 490 |
| | $y_i$ | 660, 1200 | 540, 1000 | 330, 650 |

- Verdünnen des $^{14}CO_2$-Gehaltes durch Austausch gegen $^{12}CO_2$ der Umgebung;
- Assimilation bei $^{14}CO_2$ nicht gleich wie bei $^{12}CO_2$;
- C-14 durch andere Prozesse neben der Photosynthese an Algen gebunden.

Der Hauptanteil der Fehler wurde wahrscheinlich vom heterogenen Bewuchs der Substrate verursacht. Hier bestand nur eine geringe Möglichkeit der Beeinflussung durch objektive Auswahl der Aufwuchsflächen auf den Substraten. Zwei weitere Fehler konnten durch das Auswaschen des Aufwuchses verringert werden, indem vom fliessenden Wasser ein Teil der Schwebestoffe und der Konsumenten abgespült wurde. Durch Rühren und durch die beschränkte Expositionszeit versuchte ich zu verhindern, dass alle Nährstoffe aufgebraucht und der $^{14}CO_2$-Gehalt zu stark verdünnt wurde. Nach STEEMANN NIELSEN (1977) nehmen alle Algen das radioaktiv markierte Kohlendioxid etwas schlechter auf als das unmarkierte. Nicht gebundenes 14-C sollte mit rauchender Salzsäure vor der Verbrennung des Materials entfernt worden sein.

Der Mittelwert der Produktionsmenge (dpm/$cm^2$ Aufwuchs) ist in Killwangen am kleinsten. Die Resultate der Probenahmestelle Hardturm sind ähnlich wie bei Engstringen rechts. An den anderen drei Probenahmestellen wurde etwa gleichviel produziert. Dies entspricht den Erwartungen: an der Stelle Hr findet man sauberes Limmatwasser mit nur wenig Nährstoffen, bei Er wirkt sich das Abwasser der ARA Werdhölzli mindestens zeitweise aus; bei El, Il und Ir ist die Wasserqualität ähnlich, wobei auf der linken Seite der Engstringerbrücke am meisten Nährstoffe vorhanden sind. Hier könnte unter Umständen die Produktion zeitweise durch Abwasserbelastung begrenzt sein. Die Hemmung des Algenwachstums bei der Probenahmestelle Killwangen könnte auf die verminderte Fliessgeschwindigkeit zurückzuführen sein.

Verglichen mit den Mittelwerten der Produktion pro $cm^2$ Aufwuchs liegen die Mittelwerte der Produktion pro mg Trockengewicht des Aufwuchses näher beieinander. Auch hier ist der Wert der Probenahmestelle Killwangen am kleinsten, nachher folgen Hardturm rechts (Hr) und Engstringen links (El). Die übrigen drei Stellen zeigen beim Mittelwert nur geringe Unterschiede. Bei der Ermitt-

lung des Trockengewichtes spielte der Sedimentgehalt des Aufwuchses eine Rolle, weil durch das Auswaschen mit Leitungswasser wahrscheinlich nicht aller Detritus entfernt wurde.
MUELLER (1976) erhielt bei seinen Versuchen im Greifensee keine Abhängigkeit von Produktion und Trockengewicht, weil der Bewuchs der Steine sehr dicht war. Die aufgestellte Hypothese, wonach die Produktion der Algen schichtweise verschieden sei, kann hier nicht bestätigt werden. Auf den Steinen, welche wenige Wochen im Limmatwasser lagen, konnte kein so dichter und mehrschichtiger Aufwuchs entstehen wie bei den länger im Greifensee liegenden Steinen.
Für den Aufwuchs der Limmat wurde mit Hilfe der Werte von Tab. 15 a) und Tab.16 die Abhängigkeit der Produktion vom Trockengewicht ermittelt (Abb.12). Für Trockengewichte z im Bereich zwischen 2,0 mg/cm$^2$ und 7,7 mg/cm$^2$ ergibt sich nach SACHS (1972) folgende Beziehung zur Produktion x (dpm/cm$^2$): $x = -450 + 960\ z$, $r = 0,65$ ($r_{156;0,05} = 0,16$). Der 95%-Vertrauensbereich der Geraden lautet: $x = (-450 \pm 800) + (960 \pm 178)\ z$. Für den vorgegebenen Bereich hängt die Produktion mit guter Korrelation vom Trockengewicht des Aufwuchses ab.
Nach LIETH and WHITTAKER (1975) lässt sich aus dem Trockengewicht durch Multiplikation mit dem Faktor 0,5 der ungefähre C-Gehalt abschätzen. Der Mittelwert des Trockengewichtes beträgt für alle 158 Untersuchungen 4,3 mg/cm$^2$. Durchschnittlich lag jeder Stein 54 Tage im Limmatwasser, so dass sich eine mittlere tägliche Produktionsrate von etwa 0,04 mg C cm$^{-2}$ errechnen lässt. Umgerechnet sind dies 400 mg C m$^{-2}$d$^{-1}$. Die genannten Autoren geben als Produktionsrate des Aufwuchses in Fliessgewässern einen Wert von 500-2000 mg C m$^{-2}$d$^{-1}$ an. Die Produktionsrate des Aufwuchses der Limmat entsprach etwa diesen Resultaten, wenn man berücksichigt, dass die im Fluss ausgelegten Steine am Anfang überhaupt keinen Bewuchs aufwiesen, so dass die Assimilationsrate erst mit der Zeit anstieg.

Tabelle 16: Trockengewichte des Aufwuchses [$mg/cm^2$] der Primärproduktionsmessungen an den Probenahmestellen der Limmat während der Untersuchungsperioden 101-112, 1977-1978. (Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Er=Engstringen rechts, Il=Industriebrücke links, Ir=Industriebrücke rechts, Ki=Killwangen links)

| Periode | Hr | El | Er | Il | Ir | Ki |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 101 | 4,8 5,9 | 3,9 3,3 3,3 | 2,3 2,4 | 4,4 3,1 | 3,7 4,2 | 2,4 2,5 2,1 |
| 102 | 6,6 4,9 6,3 | 5,1 6,8 | 3,2 2,9 | 4,3 3,1 | 5,2 4,0 | 2,3 2,2 |
| 103 | 5,0 5,3 | 6,0 7,3 5,9 | 5,7 4,8 4,8 | 7,0 6,5 | 5,7 5,3 | 3,1 3,8 3,2 |
| 104 | 4,6 5,1 | 6,8 6,2 | 4,5 4,6 | 7,1 6,7 | 5,6 4,7 4,3 | 2,7 2,6 |
| 105 | 2,4 3,6 | 5,7 4,0 | 3,0 2,8 | 4,0 4,5 | 4,4 4,4 | 3,0 2,4 |
| 106 | 3,5 3,7 2,8 | 2,6 2,0 | 3,2 2,3 | 3,5 3,6 | 3,4 3,3 | 2,9 2,0 |
| 107 | 3,7 3,5 | 3,9 4,3 | 3,7 4,1 | 5,5 5,2 | 3,7 3,7 3,0 | 2,3 2,4 |
| 108 | 7,2 7,6 | 7,0 6,6 | 5,6 5,2 | 4,8 5,8 4,7 | 4,2 5,6 | 2,6 2,3 2,6 |
| 109 | 6,9 5,6 | 6,6 6,8 | 4,8 3,9 | 5,5 4,3 | 3,9 3,9 | 3,3 3,3 |
| 110 | 4,0 3,9 | 7,6 7,5 | 3,6 4,6 | 5,7 5,8 4,9 | 4,6 4,1 | 2,9 2,9 |
| 111 | 6,0 5,1 5,4 | 6,7 6,3 | 4,9 4,7 | 5,2 5,1 | 6,3 4,6 5,9 | 3,3 3,0 |
| 112 | 2,5 2,4 | 3,1 3,3 | 3,6 3,5 | 4,1 3,8 | 3,3 3,2 | 2,6 2,2 |

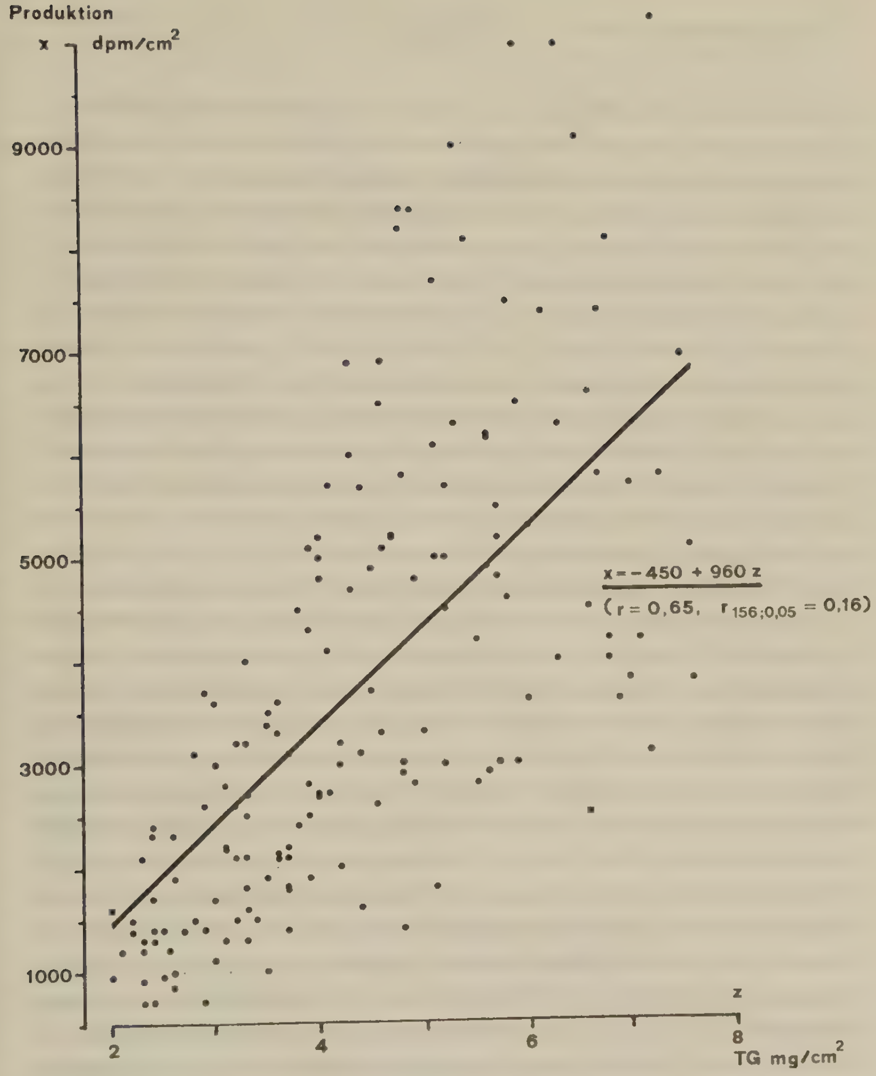


Abbildung 12: Abhängigkeit der Aufwuchs-Primärproduktion [dpm/ $cm^2$] der Limmat vom Trockengewicht [mg/$cm^2$] des Aufwuchses an den 6 Probenahmestellen. 158 Werte während der Untersuchungsperioden 101-112, 1977-78.

## 12. MAKROPHYTENVEGETATION AN DER LIMMAT

Anlässlich der Besuche an der Limmat wurden auch die auffälligen höheren Wasserpflanzen soweit möglich bestimmt. Als Bestimmungsliteratur dienten ENGELHARDT (1974), HASLAM et al. (1975) und HESS et al. (1976). Das nachfolgende Verzeichnis der gefundenen Makrophyten erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und enthält keine Wertung der Häufigkeit des Vorkommens. Alle bestimmten Arten und Gattungen sind auch von EGLOFF (1977) im Limmattal gefunden worden: Callitriche spec., Carex spec., Elodea canadensis, Iris spec., Myriophyllum spec., Phragmites spec., Potamogeton cf.crispus, Potamogeton cf.pectinatus, Potamogeton spec., Ranunculus fluitans, Typha spec., Veronica spec. Einige der aufgezählten Makrophyten kamen vorwiegend in den langsam fliessenden, gestauten Partien der Limmat vor, andere eher im rasch fliessenden freien Flusslauf.
Die grösste Wasserpflanzendichte der sechs Probenahmestellen fand ich links und rechts der Engstringerbrücke, wo zum Beispiel Potamogeton, Ranunculus und Myriophyllum zeitweise grosse Kolonien bildeten. Ein Grund dafür könnte unter Umständen die Bodenstruktur sein, da an diesen Stellen der Flussgrund schlammig (El) oder sandig (Er) ist. Dies erlaubt den Pflanzen, sich mit den Wurzeln zu befestigen. HASLAM (1978) beschreibt, wie die Makrophytenpopulation als Anzeiger des Gewässerzustandes dienen kann. Danach soll zum Beispiel Potamogeton pectinatus in den Flüssen Englands die toleranteste Art gegen anorganische Verschmutzung sein. Diese Pflanze fand ich auch an der stark belasteten Stelle El. MELZER (1976) bewertet den Zustand von Gewässern nur mit Hilfe von Makrophyten. HASLAM (1978) betrachtet diese Art der Analyse der Gewässergüte als eine relativ grobe Methode, weil im Unterschied zur Algenpopulation an einer Stelle nur wenige Makrophytenarten vorkämen.

# 13. OEKOLOGIE UND SAPROBIE DER LIMMAT

## 13.1. Saprobiensysteme

Von der Besiedlung eines Gewässers mit Pflanzen und Tieren lässt sich auf dessen Verschmutzungszustand schliessen, weil jeder Organismus eines Oekosystems auf bestimmte Eigenschaften seines Biotops angewiesen ist (ODUM 1971, LARCHER 1973). Die Analyse des Verschmutzungszustandes kann nach DEV (1971) zum Beispiel in Form einer biologisch-ökologischen Untersuchung vorgenommen werden.

Auf der Anpassung von Fliessgewässern an organische Verschmutzung bauten KOLKWITZ und MARSSON (1902-1909, 1922, 1950) ihr "System der pflanzlichen und tierischen Saprobien" auf. Sie stellten verschiedene Verschmutzungsstufen auf. Stärkste Verschmutzung wurde als polysaprob, mittlere als mesosaprob ($\alpha$-mesosaprob: bis stark verschmutzt; $\beta$-mesosaprob: bis schwach verschmutzt) und schwache Verschmutzung als oligosaprob bezeichnet. In chemischer Hinsicht wurde das Milieu nur in Worten umschrieben.

Verschiedene Forscher veränderten das System durch Einführung neuer Leitorganismen, zusätzliche chemische Kriterien oder eine andere Zonierung: THOMAS (1944), ZELINKA und MARVAN (1961), LIEBMANN (1962), FJERDINGSTAD (1964), CASPERS und KARBE (1966), SLADECEK (1973) usw. LANGE-BERTALOT (1978) baute seine Wertung lediglich auf Kieselalgen auf.

ZELINKA und MARVAN (1961) stellten Listen mit der sogenannten saprobiellen Valenz auf. Diese beträgt für jeden Organismus 10 Punkte, welche auf die Saprobienstufen verteilt werden. Je nachdem, ob eine Art eher euryök oder stenök ist, erhält sie einen Indikatorwert zwischen 1 und 5, welcher die Bedeutung der Art als Leitorganismus charakterisiert.

FJERDINGSTAD (1964) versuchte, ein Saprobiensystem auf der Grundlage von Bakterien- oder Algengesellschaften aufzubauen.

Zur saprobiellen Beurteilung eines Gewässers sollen soviel Organismen wie möglich bestimmt werden; die Zusammensetzung einer Biozönose hängt bei gleichem Chemismus stark von der Strömung

ab (AMBUEHL 1961).
1973 fand in Prag ein Symposium über Saprobiologie statt (SLADECEK 1977). Dabei wurde versucht, Definitionen zu erarbeiten, zum Beispiel: "Saprobität ist im Rahmen der Bioaktivität des Gewässers die Summe aller der Primärproduktion gegenüberstehenden Umsatzprozesse, also der mit einem Verlust an potentieller Energie verknüpften Vorgänge. Aus ihr ergibt sich mit dem physikalischen und biogenen Sauerstoffeintrag der Saprobitätsgrad des Gewässers. Dieser kann sowohl durch stoffwechseldynamische Messungen wie durch die Analyse der Lebensgemeinschaften ermittelt werden".

## 13.2. Saprobie und Trophie

Erfolgt in ein Fliessgewässer eine Abwassereinleitung, so ist direkt nach der Einleitung die primäre Verschmutzung hoch. Infolge der Mineralisierung der organischen Substanz durch reduzierende und oxidierende Mikroorganismen werden die Nahrungsbedingungen der autotrophen Pflanzen verbessert. Wenn die Produkte der Photosynthese, das heisst die entstehende Biomasse (=sekundäre Verschmutzung), nicht weggeschwemmt werden, so entsteht daraus eine tertiäre Verschmutzung, weil die autotrophen Organismen nach ihrem Absterben abgebaut werden müssen (THOMAS 1965).
Wo die abzuleitenden Abwässer ohne Düngstoffentfernung (3.Stufe der Kläranlagen) mineralisiert werden, entstehen die bekannten starken Verkrautungen unserer Flüsse (THOMAS 1953, 1975; THOMAS und SCHANZ 1977).
Nach ODUM (1971) entscheidet das Verhältnis Produktion:Respiration (P/R) über Trophie und Saprobität. Ist $P/R > 1$, so nimmt die Trophie zu, bei $P/R < 1$ steigt die Saprobität. Für oligosaprobe und β-mesosaprobe Fliessgewässer ist normalerweise $P/R \cong 1$. In α-mesosaproben und polysaproben Flüssen dagegen liegt P/R meist unter 1. Alle Energie, welche durch allochthone Zufuhr und durch autochthone Primärproduktion in das Gewässer gelangt, muss entweder mittels Sedimentation abgelagert, weggeschwemmt oder durch Respiration verbraucht werden.

## 13.3. Berechnung der Saprobität

Nach der Einführung der diversen Saprobiensysteme wurde verschiedentlich der Versuch unternommen, mit Hilfe von Formeln die Saprobität zu erfassen.
ZELINKA und MARVAN (1961) berechnen aus dem Indikatorwert, den Häufigkeiten der vorkommenden Arten und deren saprobieller Valenz mit einer Formel den mittleren Saprobitätsgrad jeder Saprobienzone an jeder untersuchten Stelle eines Gewässers. Der höchste Mittelwert ergibt die Saprobitätsstufe des betreffenden Punktes. Diese Methode ist sehr aufwendig, jede Art muss genau bestimmt und ihre Häufigkeit ausgezählt werden, eine blosse Schätzung genügt nicht. Für das Auszählen sind einheitliche Substratgrössen nötig, was, wie früher besprochen, mit Schwierigkeiten verbunden ist.
Die Gewässergüte wird von KOTHE (1962) als "Artenfehlbetrag" berechnet. Dabei werden Zahl und Häufigkeit von Organismen der saubersten Stelle als Referenz genommen und die anderen Stellen damit verglichen. KOTHE geht davon aus, dass eine Abwassereinleitung immer zur Reduktion von Zahl und Häufigkeit der Lebewesen führt.
LIEBMANN (1962, 1969) bezeichnet die Saprobienstufen als Güteklassen. Jeder Klasse entspricht bei der Darstellung eine Farbe: rot=polysaprob, gelb=α-mesosaprob, grün=β-mesosaprob, blau=oligosaprob.

## 13.4. Die Organismen des Aufwuchses der Limmat als Indikatoren

Tab.17 enthält alle im Aufwuchs der Limmat als markant oder dominant festgehaltenen Arten des Kapitels 10 und ihre Stellung im Saprobiensystem, nach MAUCH (1976). Dieses Werk fasst die Einstufung von Organismen in Saprobienklassen aller bekannten Autoren saprobiologischer Untersuchungen zusammen. Der Indikatorwert der einzelnen Arten wird nach ZELINKA und MARVAN (1961) oder nach SLADECEK (1973) angegeben.
Die Problematik der Einstufung in eine bestimmte Zone zeigt sich bei einigen Organismen deutlich: Cladophora kam zum Bei-

Tabelle 17: Einstufung nach MAUCH (1976) der gefundenen Arten von Aufwuchsorganismen der Limmat als Indikatoren im Saprobiensystem. o=oligosaprob, b=β-mesosaprob, a=α-mesosaprob, p=polysaprob.

| | Saprobienstufe | Indikatorwert |
|---|---|---|
| Sphaerotilus natans | a - p | 5 |
| Oscillatoria limosa | b - a | 3 |
| Achnanthes cf.minutissima | o - b | 2 |
| Cocconeis pediculus | b | 3 |
| Cymatopleura solea | b - a | 3 |
| Cymbella cf.lanceolata | b | 3 |
| Cymbella ventricosa | o - b | 1 |
| Diatoma cf.elongatum | o - b | 3 |
| Diatoma vulgare | b | 2 |
| Fragilaria cf.capucina | o - b | 3 |
| Melosira varians | b | 2 |
| Nitzschia sigmoidea | b | 3 |
| Rhoicosphenia curvata | b | 2 |
| Synedra cf.ulna | b | 1 |
| Hydrurus foetidus | o - b | 4 |
| Vaucheria cf.sessilis | b | 2 |
| Hildenbrandia rivularis | o - b | 2 |
| Cladophora glomerata | o - b - a | 3 |
| Microspora cf.quadrata | o - b | 3 |
| Monostroma bullosum | - | - |
| Pediastrum boryanum | b | 2 |
| Stigeoclonium tenue | a | 2 |
| Ulothrix zonata | o - b - a | 2 (?) |
| Ulothrix cf.variabilis | o | - |
| Carchesium polypinum | a | 3 |
| Cothurnia annulata | o - b | - |
| Epistylis plicatilis | b - a | 3 |
| Vorticella campanula | b - a | 3 |
| Vorticella convallaria | a | 4 |

spiel bei unserer Untersuchung in sauberem und in verschmutztem Wasser vor. ZELINKA und MARVAN geben ihr als Indikatorwert eine 3, SLADECEK hingegen nur eine 1. Cladophora wird jede formelmässige Berechnung der Saprobitätsstufe einer Stelle wegen ihres häufigen Vorkommens stark beeinflussen. Sie wird daher hier als in drei Zonen lebend eingestuft. Ein hohes Indikationsgewicht der auf Cladophora lebenden Epiphyten Cocconeis und Rhoicosphenia ist gerechtfertigt, weil sich die Epiphyten auf dem Wirt je nach Milieu mehr oder weniger stark vermehren. Ulothrix zonata wird für die später folgenden Berechnungen nicht verwendet, da es von ihr nach Angaben einiger Autoren eine saubere und eine verschmutzte Form gibt. Damit ist der von SLADECEK zugeteilte Indikatorwert 5 kaum sinnvoll. Die Art Monostroma bullosum kam in der Limmat überall dort vor, wo die Strömung nicht allzu stark war.

## 13.5. Auswertung der Saprobitätsuntersuchungen für die Limmat

### 13.5.1. Allgemeines

Jede formelmässige Ermittlung des Gewässerzustandes ist problematisch, weil ein Oekosystem nie allein mit Zahlen charakterisiert werden kann. Die nach verschiedenen Formeln berechneten Werte können höchstens als Hilfsmittel bei der Beurteilung eines Flusses dienen. Nach CASPERS (1977) sind die Methoden von PANTLE und BUCK (1955) und von KNOEPP (1955) am zuverlässigsten, weil sie die quantitative, geschätzte Verbreitung der Arten miteinschliessen. Beide Verfahren können nach LIEBMANN (1962) nur zur Kontrolle einer Untersuchung eines Flusses beigezogen werden, um eine Reihenfolge der Verschmutzung der Probenahmestellen eines Gewässers aufzustellen.

### 13.5.2. KNOEPP - Methode

Nach KNOEPP (1955) lässt sich ein "biologischer Gütelängsschnitt" wie folgt berechnen: jeder Organismus ist einer bestimmten Saprobitätszone (nach KOLKWITZ 1950, LIEBMANN 1951) zugeteilt. An jeder Stelle werden die Häufigkeiten der Arten pro Zone addiert,

so dass man vier Summen erhält (Abb.13). Diese Summen werden im biologischen Gütelängsschnitt von der Abszisse aus nach oben (Summe der oligosaproben und Summe der β-mesosaproben Organismen) und nach unten (Summe der α-mesosaproben und polysaproben Organismen) aufgetragen. Die Resultate der gleichen Saprobitätszonen können im Flussverlauf miteinander verbunden werden. In der Originalarbeit berücksichtigte KNOEPP nur eine einzige Untersuchung; für die Werte der Limmat in Abb.13 wurden alle Häufigkeiten jedes Organismus während der Untersuchungszeit addiert, um das vorhandene Zahlenmaterial anwenden zu können. Ebenfalls aus den Häufigkeitssummen der Saprobitätszonen jeder Stelle lässt sich die "relative Güte" nach KNOEPP ableiten:

$$\text{relative Güte} = \frac{\Sigma o + \Sigma b}{\Sigma o + \Sigma b + \Sigma a + \Sigma p} \text{ in } \%.$$

Die relative Belastung ist die Ergänzung auf 100 %.

Für die Probenahmestellen der Limmat ergeben sich folgende Werte:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Hardturm rechts: | rel. Güte | = 86 %, | rel. Belastung | = 14 % |
| Engstringen links: | " | = 58 % | " " | = 42 % |
| Engstringen rechts: | " | = 78 % | " " | = 22 % |
| Industriebrücke links: | " | = 66 % | " " | = 34 % |
| Industriebrücke rechts: | " | = 72 % | " " | = 28 % |
| Killwangen links: | " | = 83 % | " " | = 17 % |

Im Gütelängsschnitt der Abb.13 für die Limmat dominieren oberhalb der Abszissenachse an jeder Stelle die β-mesosaproben, unterhalb die α-mesosaproben Organismensummen. Die Probenahmestellen der Limmat liegen also im Bereich dieser beiden Saprobitätszonen. Weil die Ergebnisse der Rechnungen auf Grund der Häufigkeitsbestimmungen von 20 Untersuchungsperioden als Mittelwerte erhalten wurden, sind keine Extremwerte zu erkennen. Auf Grund meiner Eindrücke anlässlich der Probenahmen gehört die Stelle Engstringen links zeitweise eindeutig zur α-mesosaproben Zone, was bei der Angabe eines Mittelwertes nicht berücksichtigt wird.

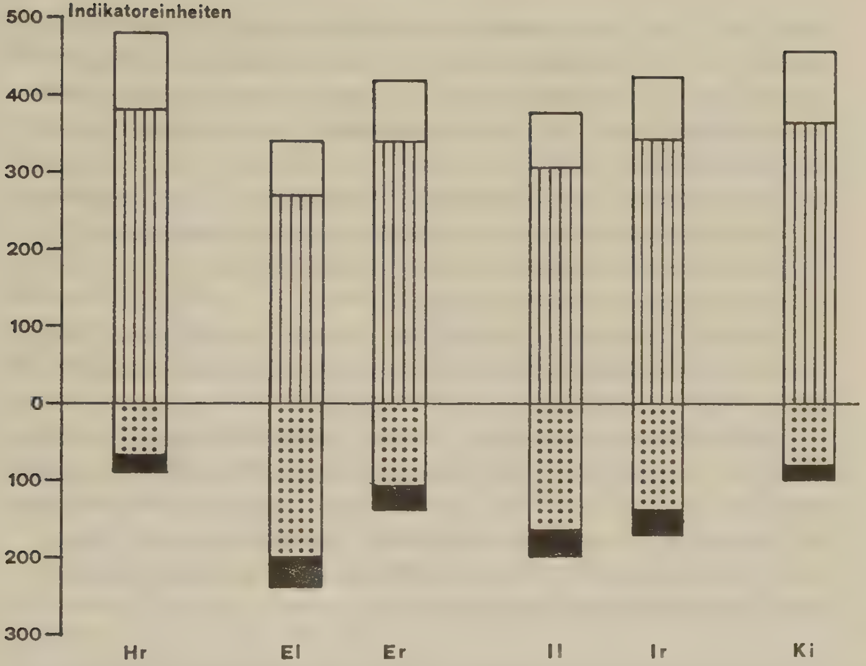


Abbildung 13: Gütelängsschnitt der Limmat an den verschiedenen Probenahmestellen, Methode nach KNOEPP. Indikatoreinheiten=Summe der Häufigkeiten der Arten.

$\Sigma o$ = Summe der oligosaproben Organismen (Indikatoren)

$\Sigma b$ = Summe der β-mesosaproben Organismen (Indikatoren)

$\Sigma a$ = Summe der α-mesosaproben Organismen (Indikatoren)

$\Sigma p$ = Summe der polysaproben Organismen (Indikatoren)

Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Er=Engstringen rechts, Il=Industriebrücke links, Ir=Industriebrücke rechts, Ki=Killwangen.

### 13.5.3. PANTLE und BUCK - Methode

Nach PANTLE und BUCK (1955) lässt sich ein Saprobitätsindex S für jede Stelle berechnen:

$$S = \frac{\Sigma(s \cdot h)}{\Sigma h}$$

Dabei ist s der Saprobiewert von 1 (=oligosaprob), 2 (=β-mesosaprob), 3 (=α-mesosaprob) oder 4 (=polysaprob), je nachdem welcher Saprobiezone ein Organismus (nach KOLKWITZ 1950, LIEBMANN 1951) angehört; h ist die Häufigkeit, mit welcher die Art gefunden wird.

Für die Berechnung von S wurde im folgenden die Summe aller beobachteten Häufigkeiten der 20 Untersuchungsperioden gemäss Kapitel 10 für jede Probenahmestelle berücksichtigt.

Folgende Indices wurden berechnet:

Hr: S=1,8; El: S=2,4; Er: S=2,1; Il: S=2,3; Ir: S=2,2; Ki: S=2,0.

PANTLE und BUCK bezeichnen Stellen mit einem Index zwischen 1,0 und 1,5 als oligosaprob, von >1,5 bis 2,5 als β-mesosaprob, von >2,5 bis 3,5 als α-mesosaprob und von >3,5 bis 4,0 als polysaprob. Damit liegen alle 6 Probenahmestellen im β-mesosaproben Bereich, El allerdings an der oberen Grenze. Der Index berücksichtigt als Mittelwert keine Extremwerte, so dass auch bei diesen Zahlen der zeitweise eindeutig α-mesosaprobe Zustand der Stelle Engstringen links nicht sichtbar ist.

### 13.5.4. Vergleich der Werte nach KNOEPP und PANTLE und BUCK

Die allgemein eng beieinanderliegenden Werte beider Methoden widerspiegeln die Problematik solcher formelmässig ermittelten Zustandsangaben. Nach meinen Beobachtungen ist der Unterschied der Gewässergüte der Probenahmestellen wesentlich grösser, als man auf Grund der oben berechneten Werte annehmen dürfte. Immerhin erlauben die Resultate eine Reihenfolge der Verschmutzung der Probenahmestellen an der Limmat anzugeben. Bei beiden Methoden folgen nacheinander die Stellen Hardturm rechts (Hr), Killwangen links (Ki), Engstringen rechts (Er), Industriebrücke rechts (Ir), Industriebrücke links (Il) und Engstringen links (El).

## 13.6. Die Einstufung der Probenahmestellen der Limmat im Saprobiensystem

Als weitere Möglichkeit für einen Vergleich der Saprobität verschiedener Stellen bin ich auf die folgende Methode des Ver-

gleichs von zwei Organismengruppen gekommen.
Gemäss dem Indikatorwert der Tab.17 sind Sphaerotilus natans, Carchesium polypinum und Vorticella convallaria von allen gefundenen Organismen die wichtigsten Anzeiger für die α-mesosaprobe und die polysaprobe Zone (Organismengruppe des verschmutzten Wassers). Im Gegensatz dazu, sind Diatoma elongatum und Fragilaria cf.capucina typische Vertreter der oligosaproben und β-mesosaproben Zone (Organismengruppe des leicht- und unverschmutzten Wassers). Wie aus den Abb.11 b) und 11 c) ersehen werden kann, kommen die drei Anzeiger der belasteten Zonen an der Stelle Engstringen links (El) am meisten vor. Die zwei Anzeiger von guter Wasserqualität sind an der Stelle Hardturm rechts (Hr) am häufigsten. Summiert man die geschätzten Häufigkeiten der Arten für jede Stelle der zwei Gruppen, so ergeben sich folgende Werte:

- Summe der Indikatoren des verschmutzten Wassers
  El 166, Il 125, Ir 92, Er 68, Ki 36, Hr 12
- Summe der Indikatoren des leicht verschmutzten und sauberen Wassers
  Hr 45, Ir 42, Ki 41, Er 38, Il 24, El 18

Mit diesen Werten lässt sich eine Rangkorrelation nach Spearman (SACHS 1974) aufstellen.

| Probenahmestelle | Hr | El | Er | Il | Ir | Ki | Σ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| "Verschmutzung" | 6 | 1 | 4 | 2 | 3 | 5 | |
| "Sauberkeit" | 1 | 6 | 4 | 5 | 2 | 3 | |
| Rangdifferenz D | +5 | -5 | 0 | -3 | +1 | +2 | 0 |
| $D^2$ | 25 | 25 | 0 | 9 | 1 | 4 | 64 |

Daraus lässt sich der Spearmansche Rang- Korrelationskoeffizient ($r_s$) wie folgt berechnen:

$$r_s = 1 - \frac{6\ \Sigma\ D^2}{n(n^2-1)} = 1 - \frac{384}{210} = -0,8286$$

Dieses $r_s$ ist auf dem 5 %-Niveau signifikant (0,8286 > 0,7714). Bei negativem $r_s$ liegt eine negative Korrelation vor. Für einen

Vergleich von Stellen bei unserer Methode bedeutet dies, dass dort wenig Indikatoren des leicht verschmutzten und sauberen Wassers vorhanden sind, wo verglichen mit anderen Stellen viel Indikatoren des verschmutzten Wassers zu finden sind.
Daraus lässt sich ableiten, dass bezüglich dieser biologischen Kriterien die Stellen Engstringen links und Industriebrücke links eindeutig am stärksten verschmutzt sind (für die Indikatoren verschmutzten Wassers liegen sie an der Spitze, für diejenigen sauberen Wassers am Schluss der Liste). Weiter lässt sich sagen, dass beim Hardturm rechts die sauberste der untersuchten Probenahmestellen ist. Mit Hilfe der Ergebnisse von Kapitel 13.5. und meiner Beobachtungen kann Hr zwischen oligosaprob und β-mesosaprob klassiert werden; El muss je nach Wasserführung etwa einen Drittel des Jahres als α-mesosaprob und zwei Drittel des Jahres als β-mesosaprob bezeichnet werden. Bei der Stelle Industriebrücke links findet man während etwa vier Wochen pro Jahr α-mesosaprobe, sonst β-mesosaprobe Verhältnisse. Die anderen drei Stellen sind immer im β-mesosaproben Bereich, auch wenn die Wasserqualität nicht konstant gleich gut ist.

# 14. STATISTISCHE AUSWERTUNG

## 14.1. Allgemeines

Durch eine statistische Auswertung des vorhandenen Zahlenmaterials sollen Zusammenhänge verdeutlicht werden, welche für die Beurteilung der Saprobität eines Gewässers wichtig sind. Ausser der in Kapitel 13.6. erwähnten Methode sollen weitere eigene Interpretationsmöglichkeiten hergeleitet werden.

## 14.2. Jahreszeitliches Vorkommen von Einzelorganismen

### 14.2.1. Statistische Prüfung mit Berücksichtigung der Einzelfunde

Es wurde geprüft, ob die untersuchten Algen- und Ciliatenarten im Sommer oder im Winter häufiger vorkamen; dazu verwendete ich Vierfeldertafeln (SACHS 1974).
Als Grundlage der Berechnungen dienten die Frequenzangaben der Tab.14. Gesondert für die Sommer- und die Winterperiode ermittelte ich, wie oft die Häufigkeitsstufe 1 (kein Individuum beobachtet), sowie Stufen grösser als 1 auftraten. Da während 20 Untersuchungsperioden an 6 Stellen Proben entnommen worden waren, standen für jede Art 120 Beobachtungen zur Verfügung. Es wurden nur diejenigen Arten für die Auswertung berücksichtigt, welche ich mindestens 30mal festgestellt hatte (Häufigkeitsstufe $> 1$). Diese Bedingung erfüllten 33 der total 44 Algen- oder Ciliatenarten.
Für die vorliegende statistische Bearbeitung wurde die Sommerperiode von Mai bis Oktober festgelegt; die Monate November bis April zählten als Winterhalbjahr. Bezüglich Abflussmenge der Limmat und bezüglich Sonnenscheindauer in Zürich erstreckt sich das Sommerhalbjahr von April bis September. Unsere Ausführungen stützen sich jedoch auf Beobachtungen an exponierten Substraten nach Ablauf von acht Wochen. Die im Mai entnommenen Steine lagen somit seit April im Wasser, hatten also bei der Entnahme bereits die Verhältnisse des Sommerhalbjahres gehabt. Umgekehrt verhielt

es sich im Herbst. Bezüglich Wasser- und Lufttemperatur erstreckt sich das Sommerhalbjahr in Zürich vom Mai bis im Oktober.

Tab.18 zeigt, bei welchen Organismen das Vorkommen von der Jahreszeit abhängig war. Verschiedene Diatomeenarten, sowie Vaucheria cf.sessilis und Microspora cf.quadrata beobachtete ich hauptsächlich im Winter; Anabaena spec., Pediastrum boryanum, Pediastrum spec., Closterium spec. und Cosmarium spec. wurden hingegen häufiger im Sommer gefunden. Für die anderen Arten konnten keine jahreszeitlichen Unterschiede im Vorkommen nachgewiesen werden.

Zu der statistischen Untersuchung ist zu bemerken, dass die Aussagekraft der Häufigkeitsstufe 2 (seltener Einzelfund) fraglich ist; es können Zufälligkeiten mitspielen. Die Verwendung dieser Stufe für die Erfassung eines jahreszeitlichen Unterschiedes im Vorkommen kann zu Fehlbeurteilungen führen, wenn bei einer bestimmten Art nur Einzelfunde festgestellt wurden. Ausserdem lässt sich mit dem durchgeführten Test bei quantitativen Unterschieden in der Häufigkeit des Vorkommens eines Organismus zwischen Sommer und Winter keine Differenz nachweisen.

### 14.2.2. Statistische Prüfung ohne Berücksichtigung der Einzelfunde

Nach der gleichen Berechnungsart wie in Kapitel 14.2.1. wurde der jahreszeitliche Unterschied im Vorkommen der Organismen nochmals geprüft, wobei die Häufigkeitsstufen 1 (kein Vorkommen) und 2 (seltener Einzelfund) zu einer Gruppe zusammengefasst und den höheren Stufen gegenübergestellt wurden.

Tab.19 zeigt, dass ohne Berücksichtigung der Einzelfunde Gomphonema, Nitzschia und Pinnularia im Winter nicht mehr häufiger als im Sommer vorkamen. Dafür ergab sich bei diesem Test, dass Diatoma vulgare hauptsächlich im Winter festgestellt wurde. Das Verschwinden der erwähnten drei Kieselalgenarten kann damit erklärt werden, dass alle drei Organismen nur als Einzelfund oder nicht vorkommend notiert worden waren. Beim Zusammenfassen der beiden niedrigsten Stufen ergab sich daher kein Unterschied

Tabelle 18: Abhängigkeit des Vorkommens der Organismen von der Jahreszeit an den Probenahmestellen der Limmat mit Berücksichtigung der Einzelfunde (Stufe 2 der Häufigkeitsskala), 1975-1978.

| Organismus | Vorkommen hauptsächlich im Winter | Vorkommen hauptsächlich im Sommer | kein Unterschied im Vorkommen |
|---|---|---|---|
| Sphaerotilus natans | | | x |
| Anabaena spec. | | x | |
| Oscillatoria limosa | | | x |
| Oscillatoria spec. | | | x |
| Achnanthes cf.minu. | | | x |
| Cocconeis pediculus | | | x |
| Cymbella cf.lanceo. | x | | |
| Cymbella ventricosa | x | | |
| Diatoma cf.elongat. | x | | |
| Diatoma vulgare | | | x |
| Fragilaria cf.capu. | x | | |
| Gomphonema spec. | x | | |
| Melosira varians | x | | |
| Navicula spec. | | | x |
| Nitzschia sigmoidea | x | | |
| Pinnularia spec. | x | | |
| Rhoicosphenia curv. | | | x |
| Synedra cf.ulna | x | | |
| Vaucheria cf.sess. | x | | |
| Cladophora glomer. | | | x |
| Microspora cf.quad. | x | | |
| Pediastrum boryanum | | x | |
| Pediastrum spec. | | x | |
| Stigeoclonium tenue | | | x |
| Ulothrix zonata | | | x |
| Ulothrix cf.variab. | | | x |
| Closterium spec. | | x | |
| Cosmarium spec. | | x | |
| Mougeotia spec. | | | x |
| Carchesium polypin. | | | x |
| Epistylis plicatil. | | | x |
| Vorticella campan. | | | x |
| Vorticella convall. | | | x |

Tabelle 19: Abhängigkeit des Vorkommens der Organismen von der Jahreszeit an den Probenahmestellen der Limmat ohne Berücksichtigung von Einzelfunden (Stufe 2 der Häufigkeitsskala), 1975-1978.

| Organismus | Vorkommen hauptsächlich im Winter | Vorkommen hauptsächlich im Sommer | kein Unterschied im Vorkommen |
|---|---|---|---|
| Sphaerotilus natans | | | x |
| Anabaena spec. | | | x |
| Oscillatoria limosa | | | x |
| Oscillatoria spec. | | x | |
| Achnanthes cf.minu. | | | x |
| Cocconeis pediculus | | x | |
| Cymbella cf.lanceo. | x | | |
| Cymbella ventricosa | x | | |
| Diatoma cf.elongat. | x | | |
| Diatoma vulgare | x | | |
| Fragilaria cf.capu. | x | | |
| Gomphonema spec. | | | x |
| Melosira varians | x | | |
| Navicula spec. | | | x |
| Nitzschia sigmoidea | | | x |
| Pinnularia spec. | | | x |
| Rhoicosphenia curv. | | | x |
| Synedra cf.ulna | x | | |
| Vaucheria cf.sess. | x | | |
| Cladophora glomer. | | x | |
| Microspora cf.quad. | x | | |
| Pediastrum boryanum | | | x |
| Pediastrum spec. | | | x |
| Stigeoclonium tenue | | | x |
| Ulothrix zonata | | | x |
| Ulothrix cf.variab. | | | x |
| Closterium spec. | | | x |
| Cosmarium spec. | | x | |
| Mougeotia spec. | | | x |
| Carchesium polypin. | | | x |
| Epistylis plicatil. | | | x |
| Vorticella campan. | | | x |
| Vorticella convall. | | | x |

mehr. Umgekehrt war es bei Diatoma vulgare, welches total 117mal gefunden worden war. Beim ersten Test konnte wegen der kleinen Anzahl von Untersuchungen ohne Vorkommen kein Unterschied ermittelt werden. Weil Diatoma vulgare häufig in der Stufe 2 gefunden worden war, ergab sich beim Zusammenfassen der Stufen ein vorwiegendes Vorkommen im Winter.

Von den Organismen welche gemäss Tab.18 hauptsächlich im Sommer vorkamen, verschwanden beim zweiten Test Anabaena, Pediastrum boryanum, Pediastrum spec. und Closterium. Neu berechnete ich für Cladophora, Oscillatoria spec. und Cocconeis ein vorwiegendes Vorkommen im Sommer.

Bei Zusammenfassung der Häufigkeitsstufen 1 bis 3 ergaben die Berechnungen keine weiteren Organismen mit jahreszeitlichen Unterschieden im Vorkommen.

## 14.3. Jahreszeitliches Vorkommen von Artengruppen

Als Grundlage dieses Kapitels dienten die Tab.18 und 19 des Kapitels 14.2.

Mit Ausnahme von Cocconeis ermittelte ich bei allen Diatomeen entweder ein häufigeres Vorkommen im Winter oder keinen jahreszeitlichen Unterschied. Da Cladophora im Sommer häufiger als im Winter vorkam, wurde ihr Epiphyt Cocconeis dann begünstigt.

Die Xanthophycee Vaucheria hatte ihr häufigeres Auftreten im Winterhalbjahr, was mit Literaturangaben übereinstimmt. Im Gegensatz zu den übrigen Grünalgen kam Microspora im Winter häufiger vor als im Sommer.

Die Auswertung der Tests zeigt, dass bei einer Saprobienanalyse die Indikatororganismen im Verlaufe eines Jahres wechseln können, so dass bei Berücksichtigung von nur einer Artengruppe (zum Beispiel Kieselalgen bei LANGE-BERTALOT, 1978) eine Saprobienuntersuchung problematischer ist, als wenn ganze Biocönosen analysiert werden..

## 14.4. Häufigkeitsunterschiede von Einzelorganismen zwischen den Probenahmestellen der Limmat (Mittelwertvergleiche)

### 14.4.1. Berechnung und Signifikanzgrenze des Unterschiedes

Für jede Probenahmestelle und jede Art wurde die Summe der Häufigkeitswerte der Sommer- und der Winterperiode gesondert berechnet und gemittelt. Um zu prüfen, ob die so erhaltenen Mittelwerte zwischen den Probenahmestellen Unterschiede zeigen, musste eine Signifikanzschwelle festgelegt werden.
Dazu berechnete ich den Mittelwert des Vorkommens der 33 wichtigsten Organismen (siehe Kapitel 14.2.) wie oben für jede Probenahmestelle und Jahreszeit. Mit den so gefundenen Werten konnte eine Verteilungskurve konstruiert werden, deren Maximum bei 0,5 lag (Werte zwischen 0,30 und 1,33). Für die folgenden Interpretationen nahm ich deshalb einen Unterschied von 0,5 und mehr Einheiten als signifikant an.

### 14.4.2. Resultate der Mittelwertvergleiche

Aus Tab.20 können die durchgeführten Mittelwertvergleiche entnommen werden. Jeder ermittelte signifikante Häufigkeitsunterschied wurde derjenigen Probenahmestelle zugerechnet, welche beim Vergleich mit einer anderen Stelle den höheren Mittelwert aufwies. Die Gesamtzahl der signifikanten Unterschiede war für Winter- (135) und Sommerhalbjahr (140) ähnlich. Die Ungleichheit beruht darauf, dass einige Organismen oder Organismengruppen bevorzugt in einer Jahreszeit auftraten.
Wir nahmen an, dass die Summe der beobachteten signifikanten Unterschiede um so höher ausfällt, je mehr sich eine Probenahmestelle im Organismenbestand von den übrigen Stellen abhebt. Die Addition der Werte der Tab.20 ergab für die einzelnen Probenahmestellen folgende Summen der Häufigkeitsunterschiede: Hardturm rechts (Hr) Winter 34, Sommer 37, Total 71; Engstringen links (El) Winter 24, Sommer 20, Total 44; Engstringen rechts (Er) Winter 18, Sommer 17, Total 35; Industriebrücke links (Il) Winter 23, Sommer 16, Total 39; Industriebrücke rechts (Ir) Winter 22, Sommer 13, Total 35; Killwangen (Ki) Winter 14, Sommer 37,

Tabelle 20: Häufigkeitsunterschiede des Vorkommens von 33 Organismen an den Probenahmestellen
(1.Teil) der Limmat, 1975-1978. Berechnung und Signifikanzschwelle nach Kapitel 14.4.1.
a = Mittelwert Stelle 1 grösser als Stelle 2 (Art an der Stelle 1 häufiger)
b = Mittelwert Stelle 2 grösser als Stelle 1 (Art an der Stelle 2 häufiger)
(W=Winter, S=Sommer; Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Er=Engstringen rechts, Il=Industriebrücke links, Ir=Industriebrücke rechts, Ki=Killwangen)

| Vergleich der Stellen | | Sphaerotilus na. | | Anabaena spec. | | Oscillatoria li. | | Oscillatoria sp. | | Achnanthes cf.m. | | Cocconeis pedic. | | Cymbella cf.lan. | | Cymbella ventr. | | Diatoma cf.elon. | | Diatoma vulgare | | Fragilaria cf.ca. | | Gomphonema spec. | | Melosira varians | | Navicula spec. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S |
| Hr | El | b | b | | | a | a | | | b | | a | a | a | a | | a | a | | a | | a | a | | | a | a | a | a |
| Hr | Er | b | b | | | | a | | | | | | | | a | | a | a | | a | | | | | | | | | |
| Hr | Il | b | b | | | | a | | | | | | a | a | a | | a | a | | | | a | a | | | a | a | | a |
| Hr | Ir | b | b | | | | a | | | | | | | | a | | a | | | a | | | | | | | a | | |
| Hr | Ki | | b | | | | a | | | | | | | | | | | a | | a | | | | | | | | | |
| El | Er | a | a | | | b | b | | | a | | b | b | b | | | | | b | | | b | | | | b | | | b |
| El | Il | a | a | | b | b | b | | | | | | | | | | | | | b | | | | | | | | | |
| El | Ir | a | a | | | b | b | | | a | | b | | b | | | | b | b | | b | b | | | | | | | |
| El | Ki | a | a | | | b | b | b | | a | | | | b | | | b | | | | | b | b | | | | b | b | b |
| Er | Il | b | b | | | | | | | | | a | a | a | | | | | a | b | | a | | | | a | | | a |
| Er | Ir | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er | Ki | a | a | | | | | b | | | | | | | | | b | | | | | | b | | | | | | |
| Il | Ir | a | a | | | | | | | | | | | b | | | | b | b | a | | b | | | | | | | |
| Il | Ki | a | a | | | | | b | | | | | | b | | | b | | | a | | b | b | | | | b | | |
| Ir | Ki | a | a | | | | | | | | | | | | | | b | | | | | | b | | | | b | | |
| Total | | 13 | 14 | | 1 | 5 | 9 | 3 | | 4 | | 4 | 4 | 8 | 4 | | 8 | 6 | 4 | 8 | 1 | 8 | 6 | | | 4 | 6 | 2 | 5 |
| | | 27 | | 1 | | 14 | | 3 | | 4 | | 8 | | 12 | | 8 | | 10 | | 9 | | 14 | | 0 | | 10 | | 7 | |

Tabelle 20: Häufigkeitsunterschiede des Vorkommens von 33 Organismen an den Probenahmestellen
(2.Teil) der Limmat, 1975-1978. Berechnung und Signifikanzschwelle nach Kapitel 14.4.1.
a = Mittelwert Stelle 1 grösser als Stelle 2 (Art an der Stelle 1 häufiger)
b = Mittelwert Stelle 2 grösser als Stelle 1 (Art an der Stelle 2 häufiger)
(W=Winter, S=Sommer; Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Er=Engstringen rechts, Il=Industriebrücke links, Ir=Industriebrücke rechts, Ki=Killwangen)

| Vergleich der Stellen | | Nitzschia sigmo. | | Pinnularia spec. | | Rhoicosphenia c. | | Synedra cf.ulna | | Vaucheria cf.se. | | Cladophora glom. | | Microspora cf.q. | | Pediastrum bory. | | Pediastrum spec. | | Stigeoclonium t. | | Ulothrix zonata | | Ulothrix cf.var. | | Closterium spec. | | Cosmarium spec. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S |
| Hr | El | | | a | | a | | a | a | b | | | | | | | a | | | | | a | a | | | | | | a |
| Hr | Er | | | a | | a | | | | b | | | | | | | a | | | | | a | a | | | | | | a |
| Hr | Il | | | | | a | | | | | | | | | | | | | | | | a | a | b | | | | | a |
| Hr | Ir | | | | | a | | | a | b | | | | | | | a | | a | a | | a | a | | | | | | a |
| Hr | Ki | | | a | | | | a | | | b | | | a | | | | | | a | | a | | b | | | | | |
| El | Er | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | b | | | | | | |
| El | Il | | | | | | | | | | b | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| El | Ir | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| El | Ki | | | | | b | | | b | | b | | | | | | | | | | | | b | | b | | | | b |
| Er | Il | | | | | | | | | | b | | | | | | | | | | | a | a | | | | | | |
| Er | Ir | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | a | | | | | | |
| Er | Ki | | | | | b | | a | | | b | | | | | | | | | | | | | | b | | | | b |
| Il | Ir | | | | | | | | | b | | | | | | | | | | a | | | | | | | | | |
| Il | Ki | | | | | | | a | b | | | | | | | | | | | a | a | | b | | b | | | | b |
| Ir | Ki | | | | | | | a | b | a | b | | | | | | | | b | | | | b | | b | | | | b |
| Total | | | | 3 | | 6 | | 5 | 5 | 5 | 6 | | | 1 | | | 3 | | 2 | 4 | 1 | 6 | 10 | 2 | 4 | | | | 8 |
| | | 0 | | 3 | | 6 | | 10 | | 11 | | 0 | | 1 | | 3 | | 2 | | 5 | | 16 | | 6 | | 0 | | 8 | |

Tabelle 20: (3.Teil) Häufigkeitsunterschiede des Vorkommens von 33 Organismen an den Probenahmestellen der Limmat, 1975-1978. Berechnung und Signifikanzschwelle nach Kapitel 14.4.1.
a = Mittelwert Stelle 1 grösser als Stelle 2 (Art an der Stelle 1 häufiger)
b = Mittelwert Stelle 2 grösser als Stelle 1 (Art an der Stelle 2 häufiger)
(W=Winter, S=Sommer; Hr=Hardturm rechts, El=Engstringen links, Er=Engstringen rechts, Il=Industriebrücke links, Ir=Industriebrücke rechts, Ki=Killwangen )

| Vergleich der Stellen | | Mougeotia spec. | | Carchesium poly. | | Epistylis plica. | | Vorticella camp. | | Vorticella conv. | | Zusammenfassung der Häufigkeitsunterschiede (Winter: 135, Sommer: 140, Total: 275; T=Total) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | W | S | W | S | W | S | W | S | W | S | | W | S | T | | W | S | T |
| Hr | El | | | b | b | b | b | | a | b | b | a = Hr > El: | 12 | 12 | 24 | b = El > Hr: | 6 | 4 | 10 |
| Hr | Er | | | b | b | | | | | | b | a = Hr > Er: | 5 | 6 | 11 | b = Er > Hr: | 3 | 3 | 6 |
| Hr | Il | | | b | b | b | b | | | b | | a = Hr > Il: | 6 | 9 | 15 | b = Il > Hr: | 5 | 3 | 8 |
| Hr | Ir | | | b | b | b | b | | | b | b | a = Hr > Ir: | 4 | 9 | 13 | b = Ir > Hr: | 5 | 4 | 9 |
| Hr | Ki | | | | | | | | | | | a = Hr > Ki: | 7 | 1 | 8 | b = Ki > Hr: | 1 | 2 | 3 |
| El | Er | | | a | a | a | a | b | b | a | a | a = El > Er: | 5 | 4 | 9 | b = Er > El: | 6 | 6 | 12 |
| El | Il | | | a | a | a | a | | | | a | a = El > Il: | 3 | 4 | 7 | b = Il > El: | 2 | 3 | 5 |
| El | Ir | | | a | a | a | a | | | a | a | a = El > Ir: | 5 | 4 | 9 | b = Ir > El: | 5 | 3 | 8 |
| El | Ki | | b | a | a | a | a | b | b | a | a | a = El > Ki: | 5 | 4 | 9 | b = Ki > El: | 7 | 12 | 19 |
| Er | Il | | | b | b | b | b | a | | b | | a = Er > Il: | 6 | 4 | 10 | b = Il > Er: | 5 | 4 | 9 |
| Er | Ir | | | b | | b | b | a | | b | | a = Er > Ir: | 1 | 1 | 2 | b = Ir > Er: | 3 | 1 | 4 |
| Er | Ki | | | | a | | | | | | a | a = Er > Ki: | 2 | 3 | 5 | b = Ki > Er: | 2 | 5 | 7 |
| Il | Ir | | | a | a | | | | | | | a = Il > Ir: | 4 | 2 | 6 | b = Ir > Il: | 4 | 1 | 5 |
| Il | Ki | | b | a | a | a | a | b | | a | | a = Il > Ki: | 7 | 4 | 11 | b = Ki > Il: | 4 | 8 | 12 |
| Ir | Ki | | b | a | a | a | a | | | | a | a = Ir > Ki: | 5 | 4 | 9 | b = Ki > Ir: | 0 | 10 | 10 |
| Total | | | 3 | 13 | 13 | 11 | 11 | 5 | 3 | 9 | 9 | | 77 | 71 | | | 58 | 69 | |
| | | 3 | | 26 | | 22 | | 8 | | 18 | | | | | | | | | |

Total 51. Die Reihenfolge der Zahlen entspricht unseren Erwartungen, da das Wasser der Limmat beim Hardturm am saubersten und bei Engstringen links am stärksten belastet sein dürfte. Daher unterscheiden sich diese beiden Stellen am stärksten von den übrigen. Weiter darf angenommen werden, dass die ausgewählten Algen und Ciliaten eine gute Charakterisierung der Probenahmestellen ermöglichten.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass im Staugebiet des Wettinger Wehres (Stelle Killwangen) im Sommer eine charakteristische Organismengemeinschaft auftrat. Meiner Meinung nach beruht dies darauf, dass hier manche Parameter grosse Unterschiede zum ungestauten Teil der Limmat zeigten.

Im folgenden Abschnitt soll untersucht werden, inwieweit jeder einzelne der in Tab.20 aufgeführten Organismen für die Charakterisierung der Gewassergüte an den Probenahmestellen bedeutsam war. Dabei wird angenommen, dass eine Art umso bedeutender ist, je öfter in Tab.20 signifikante Unterschiede zwischen den Probenahmestellen aufgeführt sind. Willkürlich wurde festgelegt, dass Arten welche weniger als fünf Unterschiede in einem Halbjahr zeigten, für die Charakterisierung eher unbedeutend sind. Für 18 der insgesamt 33 Organismen ergab sich, dass sie Wesentliches zur Charakterisierung der Gewassergüte beitrugen: Sphaerotilus natans, Oscillatoria limosa, Cymbella cf.lanceolata, Cymbella ventricosa, Diatoma cf.elongatum, Diatoma vulgare, Fragilaria cf.capucina, Melosira varians, Navicula spec., Rhoicosphenia curvata, Synedra cf.ulna, Vaucheria cf.sessilis, Ulothrix zonata, Cosmarium spec., Carchesium polypinum, Epistylis plicatilis, Vorticella campanula, Vorticella convallaria. Für jede Art werden nachstehend die Resultate der Tab.20 besprochen:

Sphaerotilus natans (27 signifikante Unterschiede; Winter 13, Sommer 14): bei Engstringen links trat, verglichen mit allen übrigen Stellen, mehr Sphaerotilus auf. Zudem konnte gezeigt werden, dass bei Industriebrücke links im Mittel mehr Sphaerotilus als bei Hr, Er, Ir und Ki gefunden wurde. Da das Limmatwasser bei Hardturm rechts und bei Killwangen wenig abwasserbeeinflusst ist, beobachtete ich hier nur unbedeutende oder gar

keine Sphaerotilusentwicklungen.

Oscillatoria limosa (14 signifikante Unterschiede; Winter 5, Sommer 9): auffallend ist, dass Oscillatoria limosa bei Engstringen links deutlich weniger vorkam als an den anderen Stellen; dies weist darauf hin, dass die Art durch die Abwässer der ARA Werdhölzli in der Entwicklung gehemmt war.

Cymbella cf.lanceolata (12 signifikante Unterschiede; Winter 8, Sommer 4): die Art kam vorwiegend im Winter vor (siehe Tab.19) und war während dieser Jahreszeit bei Engstringen links am wenigsten häufig. Im Sommer war die Art für Hardturm rechts charakteristisch.

Cymbella ventricosa (8 signifikante Unterschiede; Sommer 8): obschon diese Kieselalgenart gemäss Tab.19 hauptsächlich im Winter vorkam, zeigte sie nur während der Sommerperiode Häufigkeitsunterschiede zwischen den Probenahmestellen. Cymbella ventricosa war bei Hardturm und bei Killwangen häufiger anzutreffen als an den übrigen Stellen.

Diatoma cf.elongatum (10 signifikante Unterschiede; Winter 6, Sommer 4): im Winterhalbjahr war die Alge vor allem bei Hardturm rechts häufiger als an den übrigen Stellen zu finden.

Diatoma vulgare (9 signifikante Unterschiede; Winter 8, Sommer 1): es ist interessant, dass dieser Organismus charakteristisch für Hardturm rechts und für Industriebrücke links war. Inwieweit hier die Häufigkeiten durch andere Faktoren als den Chemismus beeinflusst worden waren, kann nicht beantwortet werden.

Fragilaria cf.capucina (14 signifikante Unterschiede; Winter 8, Sommer 6): im Winterhalbjahr kam diese Art an den Stellen Engstringen links und Industriebrücke links weniger häufig als an allen anderen Punkten vor.

Melosira varians (10 signifikante Unterschiede; Winter 4, Sommer 6): obwohl Melosira nach Tab.19 hauptsächlich im Winter vorkam, war sie im Sommerhalbjahr an den Stellen Hardturm und Killwangen recht häufig vorhanden.

Navicula spec. (7 signifikante Unterschiede; Winter 2, Sommer 5): alle Häufigkeitsunterschiede kamen beim Vergleich von Hardturm, Engstringen rechts oder Killwangen mit den anderen Stellen zu-

stande.

Rhoicosphenia curvata (6 signifikante Unterschiede; Winter 6): diese epiphytische Kieselalge war besonders für die Stellen Hardturm rechts und Killwangen charakteristisch.

Synedra cf.ulna (10 signifikante Unterschiede; Winter 5, Sommer 5): nur bei dieser Kieselalge wurde beim Vergleich der Stellen zweimal ein Wechsel des Häufigkeitsunterschiedes zwischen Winter und Sommer berechnet, das heisst die Art kam im Winter an der einen Stelle häufiger vor und im Sommer an der anderen.

Vaucheria cf.sessilis (11 signifikante Unterschiede; Winter 5, Sommer 6): die Xanthophyceenart war besonders bei Killwangen und bei Industriebrücke rechts häufiger als an den anderen Stellen zu finden.

Ulothrix zonata (16 signifikante Unterschiede; Winter 6, Sommer 10): die Grünalge zeigte beim Vergleich mit den anderen Stellen am meisten Unterschiede bei Hardturm rechts und bei Killwangen. Weitere signifikante Häufigkeitsunterschiede ergaben sich zwischen Engstringen rechts und den am stärksten belasteten Punkten Engstringen links und Industriebrücke links. Daraus lässt sich ableiten, dass es sich bei der vorkommenden Ulothrix zonata wahrscheinlich um die Varietät des sauberen Wassers handelte (vergleiche Kapitel 10.2.).

Cosmarium spec. (8 signifikante Unterschiede; Sommer 8): Cosmarium kam nach Tab.19 vor allem im Sommerhalbjahr vor. Auch alle Häufigkeitsunterschiede wurden für diese Jahreszeit ermittelt. Das Vorkommen der Zieralge war besonders für die Stellen Hardturm rechts und Killwangen typisch.

Carchesium polypinum (26 signifikante Unterschiede; Winter 13, Sommer 13): die Anzahl und die Verteilung der Häufigkeitsunterschiede war bei dieser Ciliatenart ähnlich wie bei Sphaerotilus. Für Engstringen links und Industriebrücke links wurden beim Vergleich mit den anderen Stellen immer Häufigkeitsunterschiede nachgewiesen; nur in unbedeutenden Mengen kam Carchesium bei Hardturm und bei Killwangen vor.

Epistylis plicatilis (22 signifikante Unterschiede; Winter 11, Sommer 11): ähnlich wie Carchesium war auch Epistylis an den

Probenahmestellen Engstringen links und Industriebrücke links häufiger als an den anderen Punkten zu finden. Typisch war die Art ferner für die Stelle Industriebrücke rechts.

Vorticella campanula (8 signifikante Unterschiede; Winter 5, Sommer 3): dieser Organismus war für Engstringen rechts und für Killwangen charakteristisch und wurde hier häufiger als an den anderen Probenahmestellen beobachtet.

Vorticella convallaria (18 signifikante Unterschiede; Winter 9, Sommer 9): wie bei Sphaerotilus und bei Carchesium waren die meisten Häufigkeitsunterschiede beim Vergleich der Stellen Engstringen links und Industriebrücke links mit den anderen Punkten zu verzeichnen. Es handelt sich also auch bei dieser Art um einen Anzeiger eines belasteten Gewässers.

Rückblick: mit der hier durchgeführten Analyse liess sich zeigen, dass während der Untersuchungszeit folgende Arten von Algen und Ciliaten die Gewassergüte an den untersuchten Stellen der Limmat gut charakterisieren:

a) Häufige Arten an Stellen, die durch Abwasser wenig beeinflusst sind (meist charakteristisch für Hardturm rechts und Killwangen):

Winter: Cymbella cf.lanceolata, Cymbella ventricosa, Diatoma cf. elongatum, Fragilaria cf.capucina, Rhoicosphenia curvata, Melosira varians, Ulothrix zonata.

Sommer: Cymbella cf.lanceolata, Fragilaria cf.capucina, Melosira varians, Ulothrix zonata.

b) Häufige Arten an Stellen, die durch Abwasser beeinflusst sind (meist charakteristisch für Engstringen links und Industriebrükke links):

Winter und Sommer: Sphaerotilus natans, Carchesium polypinum, Epistylis plicatilis, Vorticella convallaria.

Es liess sich nicht nachweisen, ob ganze Artengruppen bevorzugt oberhalb oder unterhalb des Einlaufes der ARA Werdholzli auftraten.

## 14.5. Einfluss chemischer Parameter auf die Häufigkeit des Vorkommens der Aufwuchsorganismen

Mit Vierfeldertafeln (SACHS 1974) wurde der Einfluss der chemischen Parameter Ammonium-N, Nitrit-N, Nitrat-N, Phosphat-P, Gesamt-P, $BSB_5$, Chlorid und Kaliumpermanganat-Verbrauch auf die Häufigkeit des Vorkommens der im Kapitel 14.4.2. erwähnten Aufwuchsorganismen untersucht. Zur Verfügung standen die Werte der drei Probenahmestellen Hardturm rechts, Engstringen links und Engstringen rechts.

Für die Häufigkeiten bildete ich je eine Gruppe der Werte 1 und 2, beziehungsweise 3-6 der Häufigkeitsskala. Beim Chemismus wurde für jeden Parameter der Medianwert derjenigen chemischen Analysen einzeln berechnet, welche im Verlaufe jeder biologischen Untersuchungsperiode vorgenommen worden waren. Das Ueber- beziehungsweise Unterschreiten dieses Medianwertes prüfte ich im Vierfeldertest zusammen mit den beiden Häufigkeitsgruppen. Das zur Verfügung stehende Zahlenmaterial war nicht sehr umfangreich, weil an der Stelle Hardturm nur 12 chemische Untersuchungen vorgenommen worden waren.

Wegen der hohen Werte der Stelle Engstringen links lagen auch die Medianwerte der chemischen Parameter hoch. Die Zahlen der Stelle Hardturm erreichten daher nur sehr selten den Medianwert, während die Ergebnisse von Engstringen links meist über dem Medianwert lagen. Aus diesem Grunde ergaben die Berechnungen keine schlüssigen Resultate.

# 15. ZUSAMMENHANG CHEMISMUS - BAKTERIOLOGIE - BIOLOGIE - PRIMAERPRODUKTION - SAPROBITAET

## 15.1. Gesamtbilanz für die einzelnen Probenahmestellen

Folgende Faktoren sind für die Gesamtbilanz einer Gewässeranalyse besonders wichtig (nach LIEBMANN 1962, 1969, 1971; SLADECEK 1973, 1977; TOBIAS 1974): Sauerstoffgehalt, $BSB_5$, $H_2S$, Coliformenzahl, Ammoniakgehalt, $KMnO_4$-Verbrauch, Chloridgehalt, biologischer Befund. Alle diese Parameter wurden in der vorliegenden Limmatuntersuchung bearbeitet, wenn auch zum Teil nicht für alle Probenahmestellen. Weitere Kriterien stehen zusätzlich für die Beurteilung zur Verfügung. Chemismus und bakteriologischer Befund geben Aufschluss über die Qualität des Wassers; die anderen Resultate helfen bei der Qualifizierung des Gewässers als Ganzes.

Mit Hilfe aller Faktoren lassen sich die Probenahmestellen wie folgt charakterisieren:

- Hardturm rechts (Hr): alle Kriterien weisen auf ein gering belastetes Gewässer hin. Die in der schweizerischen VERORDNUNG (1977) über Abwassereinleitungen aufgestellten Qualitätsziele für Fliessgewässer werden vollumfänglich erreicht. Ganz selten treten wegen der Hochwasserentlastungen der Kanalisation in der Stadt Zürich einzelne Schmutzwasseranzeiger auf.
- Engstringen links (El): diese Stelle entspricht in keiner Art und Weise den Qualitätszielen der Verordnung. Die Einleitung der mangelhaft gereinigten Abwässer der ARA Werdhölzli bewirkt, dass die linke Flusseite bei der Engstringerbrücke zeitweise eindeutig in der $\alpha$-mesosaproben Zone liegt.
- Engstringen rechts (Er): hier sind die Verhältnisse sehr unterschiedlich; je nach Strömung wirkt sich der Abfluss der Kläranlage mehr oder weniger stark auf diese Limmatseite aus. Die Fliessgeschwindigkeit ist normalerweise eher gering. Man findet meist grosse Kolonien von Makrophyten. Es handelt sich um eine Stelle mit mässiger organischer Belastung.

- Industriebrücke links (Il): verglichen mit El ist eine Besserung festzustellen, einerseits wegen der Selbstreinigungskraft des Flusses, andererseits wegen der Verteilung des Abwassers in der Wassermasse. Das zeitweise gehäufte Auftreten von Carchesium weist auf Verschmutzung hin; je nach Wasserführung und Jahreszeit liegt die Stelle hie und da in der unzulässigen $\alpha$-mesosaproben Zone.
- Industriebrücke rechts (Ir): nach der Untersuchung der Strömungsverhältnisse müssten rechte und linke Flusseite etwa gleich beschaffen sein. Dies ist jedoch ausser bei der Primärproduktion nicht der Fall; Ir ist eindeutig in besserem Zustand als Il. Ein Grund dafür könnte sein, dass sich die Abwässer nicht genau gleich im Fluss einmischen wie der Farbstoff bei den Versuchen, zum Beispiel wegen der thermischen Bedingungen, oder weil das Abwasser eine andere Dichte als das Flusswasser hat. Die Stelle Ir kann als mässig belastet bezeichnet werden.
- Killwangen (Ki): hier handelt es sich schon fast um ein stehendes Gewässer. Dies wirkt sich zum Beispiel in einem niedrigeren Sauerstoffgehalt aus. Weiter findet eine ziemlich starke Sedimentation statt. Die Primärproduktion des Aufwuchses ist gering. Der Wasserspiegel schwankt viel weniger stark als an den anderen Stellen. Die Probenahmestelle Killwangen ist sehr schwierig zu qualifizieren; sie kann als gering bis mässig verschmutzt bezeichnet werden. Die Sanierung der Werdhölzli-Abwässer dürfte sich hier kaum stark bemerkbar machen.

## 15.2. Gesamtbilanz für die Limmat zwischen Zürich und Wettingen

Auf Grund zahlreicher Augenscheine (etwa 150 seit 1974) und mit Hilfe aller Untersuchungsresultate der repräsentativen Probenahmestellen lässt sich die Limmat zwischen Zürich und Wettingen in vier Abschnitte gliedern:

1. Quaibrücke Zürich bis ARA Werdhölzli
2. Werdhölzli bis Autobahnbrücke Geroldswil
3. Autobahnbrücke Geroldswil bis Staumauer Wettingen
4. Unterhalb Staumauer Wettingen.

Als allgemeine Bemerkung lässt sich sagen, dass die Qualitätsunterschiede in der Limmat zur Zeit nicht mehr enorm sind. Polysaprobe Zonen können nirgends mehr gefunden werden. Bei den Messungen im fliessenden Teil der Limmat unterschritt der Sauerstoffgehalt nie die kritische Grenze; es ist allerdings denkbar, dass in meteorologisch ungünstigen Jahren unterhalb des Einlaufes der Kläranlage Werdhölzli der Sauerstoffgehalt zeitweise zu knapp würde.

### 15.2.1. Quaibrücke Zürich bis Einlauf der ARA Werdhölzli

Dieser Abschnitt der Limmat befindet sich auf der rechten Flussseite immer in einem guten Zustand. Links wirkt sich der Zufluss der Sihl optisch zeitweise ziemlich stark aus. Wie frühere Untersuchungen zeigten, beeinflusst die Sihl aber die Limmat in chemischer und bakteriologischer Hinsicht nur wenig. Die mitgeführten mineralischen Schwebestoffe sedimentieren allerdings im Aufwuchs der Limmat und stören so dessen photosynthetische Aktivität. Die biologische Zusammensetzung des Periphytons ist daher bis etwa zur Europabrücke links und rechts verschieden. Die ganze Strecke gehört vom Saprobiensystem her gesehen in die gering belastete Uebergangsstufe oligosaprob - $\beta$-mesosaprob; sie erfüllt also die biologischen Qualitätsziele für schweizerische Fliessgewässer.

### 15.2.2. Werdhölzli bis Autobahnbrücke Geroldswil

Die Grenze dieses Flussabschnittes wird bei der Autobahnbrücke Geroldswil gezogen, weil unterhalb dieser Brücke das Staugebiet des Kraftwerkes Wettingen beginnt. Die Strecke ist sehr uneinheitlich, die Limmat wird durch den Einlauf der Abwässer der ARA Werdhölzli und der ARA Limmattal belastet. Zu Beginn des Abschnittes zeigen beide Uferzonen keine Besonderheiten. Das Abwasser der Kläranlage ist bei normaler Wasserführung als schmutzigbraunes, schäumendes Band im Fluss sichtbar. Etwa ab Höhe Gaswerk ist es mit dem Wasser der linken Limmatseite vermischt. Auf den Steinen sind ab hier zeitweise Ciliatenflecken zu sehen;

rechts ist noch kein Unterschied zu erkennen. Die Verhältnisse bei der Engstringer- und der Industriebrücke wurden in Kapitel 15.1. besprochen.

Bis etwa zum Beginn des Rückstaus durch das Dietiker Wehr (Höhe neue Fussgängerbrücke beim Bahnhof Dietikon), sind die Auswirkungen der Werdhölzli-Abwässer mindestens zeitweise von Auge sichtbar, indem der Fluss Geschwemmsel und Trübstoffe mitführt, was vor allem auf der linken Seite zur Bildung von Schlamm am Grund führt. Der Boden im Dietiker Staugebiet ist schlammig; mitgeführte Schwebestoffe sedimentieren hier. Kurz unterhalb des Kraftwerkes Dietikon mündet der Einlauf der ARA Limmattal in den kanalisierten Fluss. Hier sind sehr häufig grössere Schaumberge zu sehen. Die einzelnen biologischen Untersuchungen an dieser Stelle ergaben ein ähnliches Bild wie bei Engstringen links. Die Auswirkungen der Kläranlage sind aber nur auf einer kurzen Strecke festzustellen, sobald sich der Kanal mit der Reppisch und dem Flusslauf der Limmat vereinigt, wird das eingeleitete Abwasser verteilt.

Die Uferzonen des hier besprochenen Flussabschnittes sind bezüglich der Saprobität nicht einheitlich. Anfänglich sind sie noch gleich beschaffen wie oberhalb des Werdhölzlis; weiter unten ist die linke Seite zeitweise $\alpha$-mesosaprob, je nach Wasserführung und Jahreszeit; die rechte Seite bleibt ab Höhe Gaswerk immer $\beta$-mesosaprob. Unterhalb der Stelle Industriebrücke ist auch die linke Seite $\beta$-mesosaprob. Ein kurzes Stück im Kanal nach der ARA Limmattal ist wieder $\alpha$-mesosaprob.

Eindeutig polysaprobe Zonen wie sie früher vorkamen (THOMAS 1946, 1969), werden keine mehr festgestellt. Trotzdem entspricht der Abschnitt als Ganzes nicht den Qualitätszielen für Fliessgewässer.

Interessant sind die Aussagen von Fischern an der Limmat. Jedes Jahr werden Forellen ausgesetzt. Je nach Wasserführung befinden sich diese unterhalb des Einlaufes der Kläranlage Werdhölzli entweder nur auf der rechten oder auf beiden Flusseiten. Links sind immer viele Weissfische zu finden.

### 15.2.3. Autobahnbrücke Geroldswil bis Staumauer Wettingen

Der Rückstau von der Staumauer Wettingen geht bis etwa zur Zürcher Kantonsgrenze unterhalb der Autobahnbrücke Geroldswil. In der Mitte des Abschnittes liegt die bereits besprochene Probenahmestelle Killwangen.
Im obersten Teil des Streckenabschnittes ist die Strömung trotz des Staus noch ziemlich stark; weiter unten ist an der Oberfläche zeitweise fast keine Wasserbewegung zu bemerken. Der Boden ist im ganzen Gebiet schlammig; an den Ufern bleibt im Schilf viel Geschwemmsel hängen, was zu Fäulnisprozessen führt. Jeweils ab etwa Februar/März kommen die vom Grund losgelösten Blaualgenfladen ("Krötenhäute", THOMAS 1960, 1961) an die Oberfläche; diese Algenpolster bleiben ebenfalls an den Ufern hängen und stinken bei der Verwesung. Sie resultieren aus der Ueberdüngung des Wassers. Ueber den genauen Chemismus des Tiefenwassers im Staugebiet ist nichts bekannt.
Die Gewassergüte muss für den ganzen Abschnitt als β-mesosaprob bezeichnet werden. Sie entspricht nicht überall den Anforderungen der Verordnung über Abwassereinleitungen. Zum Teil hängt dies damit zusammen, dass einmal am Ufer hängengebliebenes Material nicht mehr weggeschwemmt wird, sondern an Ort und Stelle verwest. Innerhalb der β-mesosaproben Zone müssen einzelne Stellen als gering, andere als mässig verschmutzt bezeichnet werden. Der nur schwach strömende Fluss kann nicht ohne weiteres mit der übrigen Limmat verglichen werden; die Einstufung stehender Gewässer in ein Saprobiensystem ist problematisch.

### 15.2.4. Unterhalb Staumauer Wettingen

Von einer Stelle unterhalb der Staumauer wurden zeitweise biologische Proben untersucht. Die Resultate zeigten eher ein schlechteres Bild als bei Killwangen. Dies war bereits bei der ersten Untersuchung so (WAELTI 1975), als an der gleichen Stelle auch noch chemische und bakteriologische Erhebungen durchgeführt worden waren. Eine mögliche Erklärung dieser Verschlechterung ist, dass es sich nicht um Oberflächenwasser, sondern um Tiefen-

wasser handelt, weil das Wasser für die Turbinen des Elektrizitätswerkes in der Tiefe abgeleitet wird.

## 16. ZUSAMMENFASSUNG DER ARBEIT

### Ziele

- Erfassung derjenigen biologischen Verschmutzungsanzeiger im Aufwuchs der Limmat, welche entsprechend dem örtlichen Verschmutzungsgrad markant, beziehungsweise dominant in Erscheinung treten.
- Oekologischer Vergleich von Biocönosen im Fluss oberhalb und unterhalb des Einlaufes der ARA Werdhölzli.
- Zusammenfassung von biologischen Untersuchungsergebnissen, von Primärproduktionsmessungen des Aufwuchses und von vorliegenden chemischen und bakteriologischen Untersuchungsresultaten zu einem Gesamtbild.

### Kriterien

- Vorkommen von Sphaerotilus, markanten Algen und dominanten Ciliaten im Aufwuchs ausgelegter Steine in der Limmat.
- Messung der Aufwuchsprimärproduktion ausgelegter Substrate mittels eines Radiokarbon-Biotests als Versuch zur Erfassung eines zusätzlichen saprobischen Parameters.

### Resultate

- Im Laufe von etwa drei Jahren wurde mit Hilfe einer Schätzskala das Vorkommen von Sphaerotilus, von 38 markanten Algen und von 5 dominanten Ciliaten im Aufwuchs von Steinen an sechs repräsentativen Probenahmestellen der Limmat erfasst. Die Substrate lagen bis zur Entnahme durchschnittlich etwa 8 Wochen im Wasser. Die Zusammensetzung der Algengemeinschaften war im jährlichen Rhythmus immer wieder ähnlich. Einige Arten traten erst im Laufe der Zeit, zum Teil auch nur kurzfristig, augenfällig in Erscheinung. Im Prinzip gab es zwei Anstiege der Diatomeenpopulation, im Herbst und Ende Winter, sowie ein verstärktes Auftreten grüner Algen im Frühling und Sommer zu verzeichnen. Das Auftreten von Ciliaten und von Sphaerotilus hing weniger von der Jahreszeit, als vielmehr

vom Verschmutzungsgrad der betreffenden Stelle ab.
Den grössten Anteil an der Biomasse des Aufwuchses lieferte die Grünalge Cladophora glomerata, welche an allen Probenahmestellen und zu jeder Jahreszeit bestimmt werden konnte. Zeitweise häufig kamen Ulothrix-Arten und Stigeoclonium tenue vor. Von den Blaualgen trat Oscillatoria am häufigsten auf. Die am stärksten verbreiteten Kieselalgen waren Navicula-Arten, der Epiphyt Cocconeis pediculus und Diatoma vulgare.
Aus der Gruppe der Ciliaten wurde Vorticella campanula am häufigsten gesehen; von der Menge her war es Carchesium polypinum, welches an den stärker verschmutzten Stellen zeitweise in riesigen Massen auftrat.
Sphaerotilus wurde ebenfalls an den organisch belasteten Stellen in grosser Zahl gefunden.

- Die Messung der Primärproduktion des Aufwuchses mit einer 14-C-Methode ergab Resultate mit grossen Schwankungen, weil zum Beispiel der Bewuchs der Steine sehr inhomogen war und weil der Sedimentanteil im Aufwuchs nicht erfassbar war.
  Es zeigte sich, dass die Primärproduktion durch die Abwässer der ARA Werdhölzli eher gesteigert wurde (besseres Nährstoffangebot?).
- Der ökologische Vergleich von Biocönosen oberhalb und unterhalb des Einlaufes der ARA Werdhölzli zeigte, dass die Abwässer der Kläranlage einen starken negativen Einfluss auf die Biologie des Aufwuchses haben. Dies hatte zur Folge, dass sich die Limmat unterhalb der Kläranlage in einer schlechteren Saprobitätszone befand.
- Als Gesamtbild ergibt sich, dass die Limmat bis zur Einmündung der Werdhölzli-Abwasser einen gesunden Eindruck macht und in Bezug auf die überprüften Methoden den in der Verordnung über die Abwassereinleitungen festgelegten Qualitätszielen entspricht. Unterhalb der Kläranlage bis zum Staugebiet des Dietiker Wehres verschlechtert sich der Eindruck rapid; auf den Steinen im Wasser sind meist Kolonien von Ciliaten und Sphaerotilus von Auge sichtbar, zudem treibt häufig Geschwemmsel im Wasser. Auch kann bis etwa zur Engstringerbrücke

zeitweise der typische Abwassergeruch in der Limmat bemerkt werden. Der schlechte Eindruck des Zustandes der Limmat bleibt bis ins Staugebiet des Wettinger Wehres erhalten. Die Verhältnisse entsprechen unterhalb der ARA Werdhölzli weder in chemischer noch in bakteriologischer oder biologischer Hinsicht der Verordnung.

Der vom Zürcher Volk bewilligte grosszügige Ausbau der Kläranlage Werdhölzli sollte in einigen Jahren die dringend benötigte Verbesserung des Zustandes bringen.

## 17. VERDANKUNGEN

Dem Leiter der vorliegenden Arbeit, Herrn Prof.Dr. E.A.Thomas, danke ich herzlich für die Zuweisung des interessanten Themas, für seine Beratung bei Bestimmungsproblemen, für die Bereitstellung der finanziellen Mittel und für die persönliche Freiheit, welche ich während der Bearbeitung dieses Themas erfahren durfte.
Herrn Dr. F.Schanz gehört mein herzlicher Dank für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung und für seine vielen guten Ratschläge im Verlaufe der Jahre.
Herrn Prof.Dr. R.Bachofen danke ich dafür, dass ich einen Arbeitsplatz und die Infrastruktur seiner Abteilung am Institut für Pflanzenbiologie belegen durfte.
Das Tiefbauamt der Stadt Zürich unterstützte die Forschungsarbeiten aus dem Projektierungskredit für die Erweiterung der ARA Werdhölzli. Dafür danke ich allen Beteiligten ganz herzlich.
Ebenfalls danken möchte ich dem Kantonschemiker, Herrn Dr. E.Romann, für das Ueberlassen der Werte der chemischen und bakteriologischen Untersuchungen der Limmat durch die Limnologische Abteilung des Kantonalen Laboratoriums.
Der grösste Dank gebührt meiner Frau Anita, welche sowohl beim Sammeln der Proben als auch bei den Schreib- und Zeichenarbeiten tatkräftig mithalf.

## 18. LITERATURVERZEICHNIS

AMBUEHL, H. (1961): Die Strömung als physiologischer und ökologischer Faktor. Experimentelle Untersuchungen an Bachtieren. Verh.Internat.Verein.Limnol. 14: 390-395.

BACKHAUS, D. (1967): Oekologische Untersuchungen an den Aufwuchsalgen der obersten Donau und ihrer Quellflüsse. 1.Teil. Arch.Hydrobiol.Suppl. 30: 364-399.

BACKHAUS, D. (1968): Oekologische Untersuchungen an den Aufwuchsalgen der obersten Donau und ihrer Quellflüsse. 2.-4. Teil. Arch.Hydrobiol.Suppl. 34: 24-73, 130-149, 251-320.

BASF (1977): Gewässerschutz am Rhein. Wissenschaft und Politik, Köln. 175 S.

BICK, H. (1972 a): Ciliated protozoa. World Health Organization, Geneva. 198 S.

BICK, H. (1972 b): Ciliata. In: Die Binnengewässer. Band XXVI, 1.Teil. Schweizerbart, Stuttgart. S. 31-83.

BOTT, T.L., BROCK, J.T., CUSHING, C.E., GREGORY, S.V., KING, D. and PETERSEN, R.C. (1978): A comparison of methods for measuring primary productivity and community respiration in streams. Hydrobiologia 60: 3-12.

BOURRELLY, P. (1966): Les algues d'eau douce. Tome I: Les algues vertes. Boubee, Paris. 511 S.

BOURRELLY, P. (1968): Les algues d'eau douce. Tome II: Les algues jaunes et brunes. Boubee, Paris. 438 S.

BOURRELLY, P. (1970): Les algues d'eau douce. Tome III: Les algues bleues et rouges. Boubee, Paris. 512 S.

CAMPELL, R.C. (1971): Statistische Methoden für Biologie und Medizin. Thieme, Stuttgart. 269 S.

CASPERS, H. und KARBE, L. (1966): Proposals for a saprobiological classification of waters. WHO/EBL 66.80: 1-28.

CASPERS, H. (1977): Qualität des Wassers - Qualität der Gewässer. Die Problematik der Saprobiensysteme. Arch.Hydrobiol. Beih. 9: 3-14.

CURDS, C.R. (1970): An illustrated key to the British freshwater ciliated protozoa commonly found in activated sludge. Water Pollution Research, London. Technical Paper No 12. 90 S.

DEMMERLE, S. (1966): Ueber die Verschmutzung des Rheins von Schaffhausen bis Kaiserstuhl. Vjsschr.Natf.Ges.Zurich 111: 155-224.

DEV (1971, 1972): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung. Chemie, Weinheim.

EFFENBERGER, M. (1962): Konduktometrische Bestimmung des organischen Kohlenstoffs in Gewässern. Sc.Papers Inst.Chem.Technol.Prague, Techn.Of water 6: 471-493.

EGLOFF, F.G. (1977): Wasserpflanzen des Kantons Zürich. Vjsschr. Natf.Ges.Zürich 122: 1-40.

ENGELHARDT, W. (1974): Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher? Franckh, Stuttgart. 257 S.

FELLENBERG, G. (1977): Umweltforschung. Springer, Berlin. 202 S.

FJERDINGSTAD, E. (1964): Pollution of streams estimated by benthal phytomicro-organisms. Int.Rev.ges.Hydrobiol. 49: 63-131.

FJERDINGSTAD, E. (1965): Taxonomy and saprobic valency of benthic phytomicro-organisms. Int.Rev.ges.Hydrobiol. 50: 475-604.

FOTT, B. (1971): Algenkunde. Fischer, Stuttgart. 581 S.

GOLTERMAN, H.L. (1975): Physiological limnology. Elsevier, Amsterdam. 489 S.

HASLAM, S., SINKER, C., WOLSELEY, P. (1975): British water plants. Fld.Stud. 4/2: 243-351.

HASLAM, S. (1978): River plants. University Press, Cambridge. 396 S.

HESS, H.E., LANDOLT, E., HIRZEL, R. (1976): Bestimmungsschlüssel zur Flora der Schweiz. Birkhäuser, Basel. 657 S.

HUSTEDT, F. (1959): Die Kieselalgen Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz. 2.Teil. Weinheim. 845 S.

HUSTEDT, F. (1962): Die Kieselalgen Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz. 1.Teil. Weinheim. 920 S.

HYDROGRAPHISCHES JAHRBUCH (1976): Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz, Jahrgang 1976. Eidg.Amt fur Wasserwirtschaft, Bern.

JAHN, T.L. (1949): Protozoa. Brown, Dubuque Iowa. 234 S.

JEFFAY, H. and ALVAREZ, J. (1961): Liquid scintillation counting of carbon-14. Analytical Chemistry 33: 612-615.

KAHL, A. (1935): Urtiere oder Protozoa, Wimpertiere oder Ciliaten. In: DAHL, F.: Die Tierwelt Deutschlands. Fischer, Jena. 815 S.

KALBE, L. (1973): Kieselalgen in Binnengewässern. Ziemsen, Wittenberg. 206 S.

KANN, E. (1978): Systematik und Oekologie der Algen österreichischer Bergbäche. Arch.Hydrobiol.Suppl. 53: 405-643.

KLEE, O. (1973): Kleines Praktikum der Wasser- und Abwasseruntersuchung. Franckh, Stuttgart. 77 S.

KLEE, O. (1975): Hydrobiologie. DVA, Stuttgart. 194 S.

KLOTTER, H.-E. (1970): Grünalgen. Franckh, Stuttgart. 75 S.

KNOEPP, H. (1955): Grundsätzliches zur Frage biologischer Vorfluteruntersuchungen, erläutert an einem Gütelängsschnitt des Mains. Arch.Hydrobiol.Suppl. 22: 364-368.

KOLKWITZ, R. und MARSSON, M. (1902): Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. Kl.Mitt.d.kgl.Prüfungsanstalt f.Wasserversorgung u.Abwasserbeseitigung 1.

KOLKWITZ, R. und MARSSON, M. (1908): Oekologie der pflanzlichen Saprobien. Berichte d.Deutsch.Bot.Gesellschaft 26 a.

KOLKWITZ, R. und MARSSON, M. (1909): Oekologie der tierischen Saprobien. Int.Revue ges.Hydrobiol. 2.

KOLKWITZ, R. (1922): Pflanzenphysiologie. Fischer, Jena. 304 S.

KOLKWITZ, R. (1950): Oekologie der Saprobien. Piscator, Stuttgart. 65 S.

KOTHE, P. (1962): Bericht über hydrobiologische Untersuchungen 1953-1957 im Gebiet der Elbestrecke zwischen Schnackenburg und Hamburg. Mitt.der Wasserdirektion Hamburg, Nr. 14.

KUNZ, W. (1977): Belastung und Entlastung des Zürichsees hinsichtlich Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Vjsschr. Natf.Ges.Zurich 122: 249-337.

LANGE-BERTALOT, H. (1978): Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitorganismen: ein geeigneteres Kriterium der Gewässerbelastung. Arch.Hydrobiol.Suppl. 51: 393-427.

LARCHER, W. (1973): Oekologie der Pflanzen. UTB Ulmer, Stuttgart. 320 S.

LIEBMANN, H. (1951): Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, Band 1. Oldenbourg, München. 539 S.

LIEBMANN, H. (1962): Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, Band 1. 2.Aufl. Oldenbourg, München. 588 S.

LIEBMANN, H. (1969): Der Wassergüteatlas. Münchner Beitr.Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 15. Oldenbourg, München. 77 S.

LIEBMANN, H. (1971): Methodik der Untersuchung von Abwasser und Vorfluter. Münchner Beitr.Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie 19. Oldenbourg, München. 356 S.

LIETH, H. and WHITTAKER, R.H. (1975): Primary productivity of the biosphere. Springer, Berlin. 339 S.

LIMANOWSKA, H. (1912): Die Algenflora der Limmat von Zürich bis unterhalb des Wasserwerkes. Arch.Hydrobiol. 7: 331-408.

LINDAU, G. und MELCHIOR, H. (1971): Die Algen. 1.und 2.Abteilung. Nachdruck Koeltz, Königstein-Taunus. 314 und 301 S.

MAERKI, E. (1961): Die Verunreinigung von Linth und Limmat. Wasser- und Energiewirtschaft 53/10: 275-300.

MAPOS (1977): Zustand der schweizerischen Fliessgewässer in den Jahren 1974-1975. AfU, Bern. 276 S.

MAUCH, E. (1976): Leitformen der Saprobität für die biologische Gewässeranalyse. 5 Teile. Cour.Forsch.-Inst.Senckenberg 21. 797 S.

MEISTER, F. (1912): Die Kieselalgen der Schweiz. Wyss, Bern. 254 S.

MELZER, A. (1976): Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen. Cramer, Vaduz. 195 S.

MOERGELI, B. (1974): Limnologische und morphologische Beziehungen zwischen Wasser und Gerinnebett im Unterlauf der Thur. Vjsschr.Natf.Ges.Zurich 119: 23-123.

MUELLER, P. (1976): Die Primärproduktion des epilithischen Aufwuchses und des Phytoplanktons am Ufer des eutrophen Greifensees. Juris, Zürich. 69 S.

NORDWUERTTEMBERG (1959): Biologische Flussüberwachung, Ergebnisse 1953-1958. Regierungspräsidium Nordwürttemberg, Stuttgart.

NUSCH, E. (1971): Oekologische und systematische Untersuchung der Peritricha im Aufwuchs von Talsperren und Flussstauen. Arch.Hydrobiol.Suppl. 37: 243-386.

ODUM, E.P. (1971): Fundamentals of ecology. Saunders, Philadelphia. 574 S.

PANTLE, R. und BUCK, H. (1955): Die biologische Ueberwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas- und Wasserfach 96: 604.

PRESCOTT, G.W. (1970): The freshwater algae. Brown, Dubuque Iowa. 348 S.

PROJEKTIERUNGSBERICHT (1977): Erweiterung der Kläranlage Werdhölzli. Tiefbauamt der Stadt Zürich. 57 S.

REICHARDT, W. (1978): Einführung in die Methoden der Gewässermikrobiologie. Fischer, Stuttgart. 250 S.

RHEINHEIMER, G. (1971): Mikrobiologie der Gewässer. Fischer, Stuttgart. 184 S.

ROTH, O. (1917): Hygienische Betrachtungen über den Reinigungszustand der Limmat von Zürich bis Wettingen. Vjsschr.Natf. Ges.Zürich 62: 479-487.

ROUND, F.E. (1975): Biologie der Algen. Thieme, Stuttgart. 342 S.

RUTTNER, F. (1962): Grundriss der Limnologie. De Gruyter, Berlin. 332 S.

SACHS, L. (1972): Statistische Methoden. Springer, Berlin. 105 S.

SACHS, L. (1974): Statistische Auswertungsmethoden. Springer, Berlin. 545 S.

SCHANZ, F. (1977): Eine erstbeobachtete Alge am Ufer des Zürichsees: Monostroma bullosum (ROTH) THURET. Vjsschr.Natf. Ges.Zürich 122: 441-446.

SCHINDLER, D.W., FROST, V.E. and SCHMIDT, R.V. (1973): Production of epilithiphyton in two lakes of the experimental lakes area, Northwestern Ontario. J.Fish.Res.Board Can. 30: 1511-1524.

SCHLATTER, C. (1890): Die Veränderungen des Limmatwassers durch das Abwasser der Stadt Zürich in bacteriologischer Hinsicht. Veit , Leipzig.

SCHLEGEL, H. (1972): Allgemeine Mikrobiologie. Thieme, Stuttgart. 461 S.

SCHOENICHEN, W. (1927): Einfachste Lebensformen. Band II: Urtiere, Rädertiere. Bermühler, Berlin.

SCHWOERBEL, J. (1966): Methoden der Hydrobiologie. Franckh, Stuttgart. 207 S.

SCHWOERBEL, J. (1971): Einführung in die Limnologie. UTB Fischer, Stuttgart. 170 S.

SLADECKOVA, A. (1962): Limnological investigation methods for the periphyton ("Aufwuchs") community. Bot.Rev. 28: 286-350.

SLADECEK, V. (1973): System of water quality from the biological point of view. Arch.Hydrobiol.Beih. 7: 1-218.

SLADECEK, V. (1977): Symposium on saprobiology. Arch.Hydrobiol. Beih. 9: 1-247.

STEEMANN NIELSEN, E. (1977): The carbon-14 technique for measuring organic production by plankton algae, a report on the present knowledge. Folia Limnologica Scandinavica 17: 45-48.

STJERNA-POOTH, I. (1978): Undersökning av benthos och kartering av vattnets kvalitet i sjöar och rinnande vatten. Statens naturvårdsverk, Stockholm. 78 S.

STREBLE, H. und KRAUTER, D. (1973): Das Leben im Wassertropfen. Franckh, Stuttgart. 336 S.

SULZER, W. (1913): Zur Frage des Colinachweises in Oberflächengewässern. Leemann, Zurich.

SUTER, H. und HANTKE, R. (1962): Geologie des Kantons Zürich. Leemann, Zürich. 172 S.

THOMANN, J. (1900): Untersuchungen über den gegenwärtigen Stand der Frage der Verunreinigung der Limmat durch die Abwässer der Stadt Zürich. Veit, Leipzig.

THOMAS, E.A. (1944): Versuche über die Selbstreinigung fliessenden Wassers (Beitrag zur Kenntnis der Saprobienstufen). Mitt.Gebiet Lebensmitteluntersuch.u.Hyg. 35: 199-218.

THOMAS, E.A. (1946): Untersuchungen an der Limmat von Zürich bis Wettingen 1943/44. Vjsschr.Natf.Ges.Zürich 91: 216-236.

THOMAS, E.A. (1948): Untersuchungen an der Limmat von Zürich bis Wettingen 1943/44. Vjsschr.Natf.Ges.Zürich 93, Beiheft 1: 1-92.

THOMAS. E.A. (1953): Zur Bekämpfung der See-Eutrophierung: Empirische und experimentelle Untersuchungen zur Kenntnis der Minimumstoffe in 46 Seen der Schweiz und angrenzender Gebiete. Ver.Gas-Wasserfach. 33: 25-32, 71-79.

THOMAS. E.A. (1956/57): Der Zürichsee, sein Wasser und sein Boden. Jahrbuch vom Zürichsee 17: 173-208.

THOMAS, E.A. (1960): Rotalgenrasen und Blaualgenteppiche im Zürichsee. Vjsschr.Natf.Ges.Zürich 105: 297-305.

THOMAS, E.A. (1961): Wucherungen von Cyanophyceen an den Ufern des Zürichsees und deren Ursachen. Schweiz.Z.Hydrol. 23: 225-235.

THOMAS, E.A. (1965): Gewässerschutz und Fischerei. Plan 22: 175-179.

THOMAS, E.A. (1969): Limmatbesichtigung vom 28.10.69. Aktennotiz Kantonales Laboratorium Zürich, Limnologische Abt.

THOMAS, E.A. (1971): Oligotrophierung des Zürichsees. Vjsschr. Natf.Ges.Zürich 116: 165-179.

THOMAS, E.A. (1975): Gewässerfeindliche Wirkungen von Phosphaten in Flüssen und Bächen. Schweiz.Z.Hydrol. 37: 273-288.

THOMAS, E.A. und Schanz, F. (1977): Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärproduktion in Fliessgewässern, ein limnologisches Problem. Vjsschr.Natf.Ges.Zürich 121: 309-317.

TIPPETT, R. (1970): Artificial surfaces as a method of studying populations of benthic micro-algae in fresh water. Br. Phycol.J. 5: 187-199.

TOBIAS, W. (1974): Kriterien für die ökologische Beurteilung des unteren Mains. Cour.Forsch.-Inst.Senckenberg 11. 136 S.

UHLMANN, D. (1975): Hydrobiologie. Fischer, Stuttgart. 345 S.

VAN DEN HOEK, C. (1978): Algen. Thieme, Stuttgart. 481 S.

VAN SLYKE, D.D. and FOLCH, J. (1940): Manometric carbon determination. J.Biol.Chem. 136: 509-542.

VERORDNUNG (1977): Verordnung über Abwassereinleitungen, erlassen von Schweizerischen Bundesrat am 8.Dezember 1975, Stand 1.April 1977. EDMZ, Bern. 16 S.

VOLLENWEIDER, R.A. (1974): A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. Blackwell, Oxford. 225 S.

WAELTI, K. (1975): Biologische Verschmutzungsanzeiger in der Limmat von Zürich bis Wettingen. Diplomarbeit Universität Zürich. 69 S.

WALSER, E. (1962): Das Linth-Limmatgebiet in hydrographischer Sicht. Wasser- und Energiewirtschaft 8/10: 251-258.

WARD, B. and WHIPPLE, G. , edited by EDMONDSON, W.T. (1959): Fresh-water biology. Wiley, New York. 1248 S.

WASER, E., HUSMANN, W., BLOECHLIGER, G. (1938): Untersuchungen an der Limmat. Vom Wasser 12: 181-245.

WESTLAKE, D.F. (1965): Theoretical aspects of the comparability of productivity data. In: GOLDMAN, C.R. (ed.): Primary productivity in aquatic environments. Mem.Ist.Ital. Idrobiol.Suppl. 18: 313-322.

WETZEL, R.G. (1964): A comparative study of the primary productivity of higher aquatic plants, periphyton and phytoplankton in a large, shallow lake. Int.Revue ges.Hydrobiol. 49: 1-61.

WETZEL, R.G. (1965): Techniques and Problems of primary productivity measurements in higher aquatic plants and periphyton. In: GOLDMAN, C.R. (ed.): Primary productivity in aquatic environments. Mem.Ist.Ital.Idrobiol.Suppl. 18: 147-165.

WETZEL, R.G. (1975): Limnology. Saunders, Philadelphia. 743 S.

WHITTON, B.A. (1975): River ecology. Blackwell, Oxford. 725 S.

WUHRMANN, K., ZEHENDER, F. und WOKER, H. (1947): Ueber die fischereibiologische Bedeutung des Ammonium- und Ammoniakgehaltes fliessender Gewässer. Vjsschr.Natf.Ges.Zürich 92: 198-204.

ZELINKA, M. und MARVAN, P. (1961): Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fliessender Gewässer. Arch.Hydrobiol. 57: 389-407.

Curriculum vitae

Kurt William Wälti, von Zürich und Bottenwil AG

geboren am 25. März 1947 in Zürich

| | |
|---|---|
| 1967 | Matura Typ B, Gymnasium Kantonsschule Freudenberg |
| 1967-1970 | 5 Semester Medizinstudium Universität Zürich |
| 1970-1976 | Biologiestudium Universität Zürich<br>Diplom als Naturwissenschafter (Botanik)<br>1. Vorprüfung: Chemie, Geographie<br>2. Vorprüfung: Zoologie, Anthropologie, Anatomie<br>Schlussprüfung: Allgemeine Botanik, Systematische Botanik, Mikrobiologie<br>Diplomarbeit: "Biologische Verschmutzungsanzeiger in der Limmat von Zürich bis Wettingen (Sphaerotilus, markante Algen, dominante Ciliaten und drei kultivierte Bakteriengruppen)", Leitung Prof.Dr. E.A.Thomas |
| 1976-1979 | Dissertation in hydrobiologisch-ökologischer Richtung, Leitung Prof.Dr. E.A.Thomas, Hydrobiologisch-limnologische Station des Institutes für Pflanzenbiologie, Universität Zürich |
| seit 1978 | Assistent Institut für Pflanzenbiologie |

Verzeichnis der Dozenten, deren Vorlesungen, Uebungen und Praktiken besucht wurden:

Anatomie, Anthropologie, Physiologie: J.Biegert, K.Biener, R.Hunsperger, G.Kistler, S.Kubik, J.Rickenbacher, W.Scheffrahn, H.Scheier, K.Theiler, G.Töndury, O.Wyss, G.M.Yasargil

Botanik: R.Bachofen, C.D.K.Cook, B.Eller, P.Endress, P.Hagemann, H.R.Hohl, F.Knüsel, E.Landolt (ETH), H.Lutz, I.de Mendoza, R.Parish, U.Pfluger, D. Rast, O.Rohweder, H.Schaeppi, F.Schanz, J.Schlittler, K.Schneider, B.Stüssi, H.Wanner

Chemie, Biochemie: A.Dreiding, C.H.Eugster, H.Fischer, H.Labhart, F.Leuthard, H.R.Oswald, C.Schlatter, H.Schmid, G.Semenza, M.Viscontini

Didaktik, Pädagogik, Psychologie: M.Greuter, A.Habich, H.J.Hediger, H.Keller, G.Schilling, K.Widmer, O.Woodtli

Geographie: F.Bachmann, H.Boesch, G.Furrer, W.Guyan, H.Haefner, H.Kishimoto, M.Schüepp, M.Steffen

Gewässerschutz, Oekologie: A.Gigon (ETH), T.Ginsburg (ETH), R.Helmer (ETH), W.Stumm (ETH), K.Wuhrmann (ETH)

Hydrobiologie, Limnologie: H.Ambühl (ETH), E.A.Thomas

Mathematik, Computerwissenschaften: E.Batschelet, N.Wirth (ETH)

Physik: D.Brinkmann, E.Brun, V.Meyer, H.Staub, B.Stüssi

Umweltschutzrecht: H.U.Müller, H.Rausch

Zoologie: H.Burla, P.S.Chen, E.Hadorn, H.Hediger, P.Tardent, V.Ziswiler